



PUESTA EN MARCHA VIRTUAL DE UNA CÉLULA ROBOTIZADA PARA ACABADO POR MECANIZADO DE PIEZAS COMPLEJAS

Diego Retortillo Cantón

Tutor: Juan de Juanes Márquez Sevillano

Julio 2016

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer a mi tutor del Trabajo Fin de Grado, Juan de Juanes Márquez por permitirme trabajar en un proyecto de actualidad y de gran interés por mi parte.

Agradecer también el apoyo de mi familia durante la duración del Grado de Tecnologías Industriales y en especial en el desarrollo de este proyecto.

RESUMEN

INTRODUCCIÓN

Debido a la existente necesidad industrial de reducir el tiempo y el coste de un modelo productivo, se han desarrollado distintas revoluciones industriales a lo largo de los años. Gracias a la tecnología actual y a la vigente necesidad comentada, expertos industriales confirman el inicio de una nueva revolución industrial, que se denomina Industria 4.0.

La integración de tecnologías de la industria 4.0, por un lado PLM (Digital Manufacturing) y por otro lado la integración de la automatización mediante el Totally Integrated Automation permite el ahorro de tiempo y costes buscados gracias a la mejora de la flexibilidad, aumento de la calidad y eficiencia.

La tecnología de simulación disponible en los sistemas de fabricación digital permite desarrollar en la actualidad la ingeniería de sistemas simultáneamente al diseño de sistemas productivos. Se trata de ir más allá de la simulación y conseguir una emulación de la realidad, es decir, el llamado Virtual Commissioning (Puesta en marcha Virtual). El Virtual Commissioning consiste en la puesta en marcha de un entorno industrial mediante la conexión entre la ingeniería de sistemas, que gobernará la planta real, (PLC) y el mundo virtual (diseño 3D virtual) para acortar los tiempos de verificación, eliminar problemas y acortar de manera significativa el tiempo de puesta en marcha con ausencia de errores significativos.

OBJETIVOS

El presente proyecto consiste en la elaboración de una célula robótica diseñada virtualmente en una aplicación de diseño 3D que está gobernada utilizando el Virtual Commissioning a través de un PLC virtual, equivalente al hardware real de la planta. Al inicio del proyecto, se marcan ciertos objetivos cuya intención es su completo cumplimiento:

- Elaboración de una célula robótica virtual con la mayor utilización de elementos comerciales que permita una puesta en marcha viable y rápida.
- Establecer una conexión entre el mundo real (PLC) y el mundo virtual (DELMIA), mediante la familiarización de las herramientas informáticas y el manejo de los protocolos de comunicación necesarios.
- Ahondar en las investigaciones en el entorno del Virtual Commissioning y aplicar características presentes en el nuevo paradigma de la industria 4.0, dejando un camino viable para su desarrollo e investigación en este sector.
- Establecer un demostrador que represente de forma virtual el correcto funcionamiento de una célula robótica a través de herramientas informáticas conectadas y gobernadas por un HMI.

PROCEDIMIENTO Y DEMOSTRADOR

A continuación, se presenta el procedimiento llevado a cabo y el demostrador final que da sentido al proyecto. El proyecto está dividido en 4 fases (Diseño 3D, cinemática, programación plc-hmi y conexión entre las distintas partes), que se irán desglosando durante el avance del mismo.

DISEÑO 3D

Consiste en desarrollar una célula robótica 3D, utilizando el programa CATIA V5, mediante la manipulación de elementos comerciales y no comerciales. El procedimiento consiste en definir el funcionamiento de la célula, elegir los componentes a utilizar y elaborar el montaje de los mismos mediante restricciones dimensionales.

El funcionamiento planteado consiste en una célula robótica que emula la mecanización de una pieza aeronáutica (Compás aeronáutico). Para que la utilización de una célula robótica de mecanizado tenga sentido, se ha elegido una pieza de valor con superficies curvas que presenta un desbaste de acabado complejo.

La pieza es suministrada a partir de otro proceso productivo mediante una cinta transportadora que se detiene cuando un sensor detecta la pieza. Una vez se dispone la pieza, el primer robot recoge la pieza, la eleva y la deposita en un utillaje. Cuando el primer robot termina su tarea, los cilindros de apriete ejercen una presión de sujeción a la pieza para que no se mueva al ser mecanizada. Cuando un segundo sensor detecta que los cilindros están en posición de apriete el segundo robot realiza su proceso de mecanizado. Terminado su trabajo, los cilindros se abren, dejan de ejercer presión, y es entonces cuando el primer robot, primeramente utilizado, recoge la pieza y la deposita en una segunda cinta transportadora que la llevará a otro proceso productivo.

Conocido el funcionamiento, se continúa el proyecto mediante la elección de los elementos que lo conforman, puesto que uno de los objetivos primordiales del proyecto consiste en la elección de elementos comerciales que permitan una puesta en marcha rápida y viable.

Finalmente, teniendo todos los componentes a utilizar, se utiliza la herramienta informática CATIA V5 para realizar el montaje de los mismos mediante la asignación de restricciones dimensionales entre los distintos componentes de la célula robótica.

CINEMÁTICA

Establecido el montaje completo, el proyecto continúa mediante la dotación de movimiento de los elementos requeridos mediante la utilización del programa DELMIA V5. El procedimiento se lleva a cabo en dos fases, la creación de mecanismos y la definición de tareas.

Dependiendo del movimiento que se quiera realizar es necesario establecer unos pares cinemáticos u otros. En el caso que se presenta, se aplicarán pares cinemáticos al movimiento presente en los cilindros y al movimiento de las cintas transportadoras. Los robots al presentar mecanismos intrínsecos no será necesario la creación de los mismos.

Finalmente, se graban las posiciones de los distintos movimientos tanto del mecanismo principal como de los robots y se elabora la lógica interna que gobierne su funcionamiento.

PROGRAMACIÓN DEL PLC Y HMI

El siguiente paso consiste en la elaboración de un entorno de programación que gobierne los movimientos establecidos. Para llevarlo a cabo, se ha elegido el programa TIA Portal debido a su gran aplicación en la industria actual.

La programación realizada se desarrolla en un entorno de programación KOP o Ladder gracias a la facilidad de uso y su extensa utilización en células de este tipo.

La manipulación de las distintas variables se realiza con un HMI que permite la comunicación a través de una interfaz hombre – máquina mediante la conexión del protocolo TCP/IP.

La carga del programa desarrollado y el HMI se realiza mediante un PLC simulado que implica una verificación tipo SIL debido a la virtualización del PLC y de la célula 3D.

CONEXIÓN ENTRE LAS DISTINTAS PARTES

Una vez se han desarrollado los movimientos en un entorno virtual en 3D y la programación que los gobierne, es necesario la conexión entre ambos mundos para obtener el demostrador requerido. Esta conexión no se va a conseguir de forma directa por lo que será necesario la utilización de otros programas para llevarla a cabo.

Dicha conexión se realizará mediante un OPC que actuará de intermediario entre el mundo real (PLC) y el virtual (DELMIA). Para ello se utiliza el programa KEPServerEX, donde se crearán las variables utilizadas entre el PLC y DELMIA. En la conexión entre el PLC y el KEPServerEX deberá utilizarse otro programa llamado NettoPlcSim que detenga el puerto 102 y permita la comunicación entre ambos.

Determinada la comunicación entre el PLC y el OPC, es necesario establecer la conexión del OPC con el entorno virtual de DELMIA. Con esta finalidad se crea un entorno en DELMIA donde se conectan el PLC y los distintos mecanismos, consiguiendo de esta forma una comunicación bilateral entre ellos.



Figura 1. Conexión

DEMOSTRADOR

Finalmente se refleja el demostrador realizado, el cual determinará el correcto funcionamiento establecido en esta célula robótica.

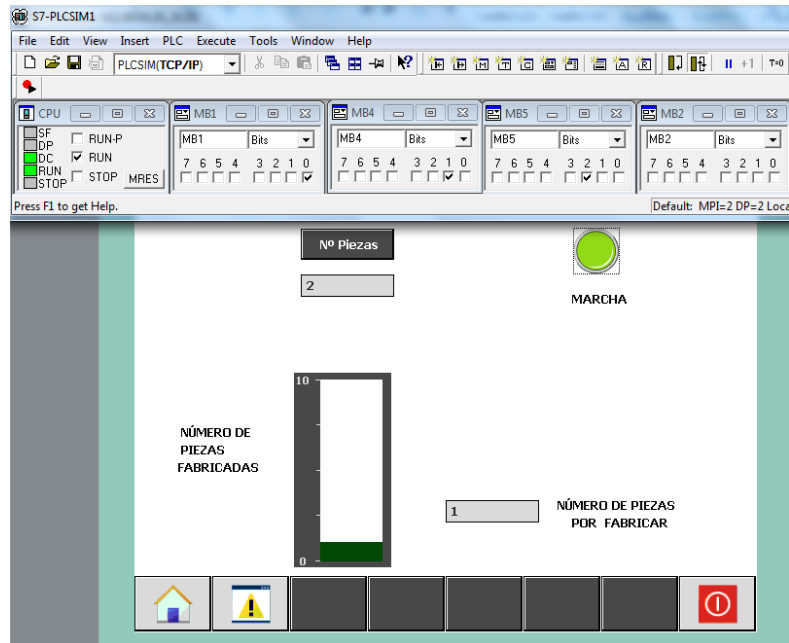


Figura 2. HMI

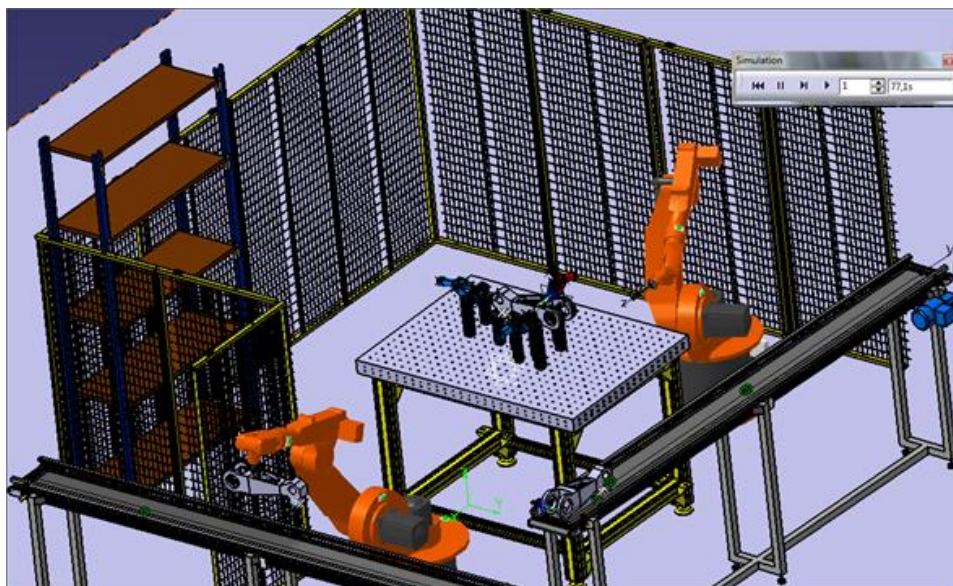


Figura 3. Demostrador

CONCLUSIONES

Tras la elaboración, análisis, modificación y desarrollo final del proyecto se han extraído una serie de conclusiones con respecto al mismo.

En relación a los objetivos marcados al inicio del proyecto, se ponen en evidencia los siguientes:

- En cuanto a la meta marcada de un proyecto con el mayor número de elementos comerciales utilizados, cabe destacar que la gran mayoría de los componentes utilizados son comerciales, siendo únicamente 3 los no comerciales. Este hecho permite definir el proyecto como viable y factible.
- Se ha continuado con las investigaciones existentes en el entorno del Virtual Commissioning, profundizando aún más con la introducción de robots en el proceso. Además, el proyecto ha permitido dejar una base para la evolución del mismo hacia la incipiente industria 4.0.
- Se ha adelantado la fase de ingeniería de sistemas y se ha introducido la interfaz hombre-máquina (HMI).
- Se considera logrado el objetivo establecido de comunicar el mundo real y el mundo virtual, consiguiendo ir más allá de la simulación y desarrollar una emulación rápida, fiable y eficaz.

Durante el desarrollo del proyecto se han utilizado distintas herramientas informáticas con diferentes experiencias de uso:

- La posibilidad de obtener una emulación de forma sencilla y eficaz por parte de empresas mediante las herramientas informáticas utilizadas en el proyecto hace que sea un punto muy valioso dentro de la diferenciación que puedan obtener en la incipiente industria 4.0.
- La conexión correcta entre las herramientas informáticas utilizadas implica una universalidad de las aplicaciones de este trabajo. Se concluye entonces que cualquier empresa podría utilizar piezas con diferentes formatos y programas de distintos proveedores sin la necesidad de estar sujeto a ciertas compañías informáticas.

Palabras Clave: Virtual Commissioning, OPC, Puesta en marcha virtual, HMI, PLC.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	14
2. OBJETIVOS	20
3. METODOLOGÍA	23
3.1 DISEÑO 3D DE LA CÉLULA ROBÓTICA	23
3.1.1 ENTORNO CATIA.....	23
3.1.2 DISEÑO 3D.....	24
3.2 DOTACIÓN DE MOVIMIENTO	29
3.2.1 ENTORNO DELMIA	29
3.2.2 Creación de mecanismos	30
3.2.3 Definición de tareas.	32
3.3 PROGRAMACIÓN	35
3.3.1 ENTORNO TIA PORTAL	35
3.3.2 Programación PLC.....	36
3.3.3 HMI	40
3.4 CONEXIÓN SISTEMA REAL Y SIMULACIÓN	43
3.4.1 CONEXIÓN DE LA CÉLULA CON EL PLC	45
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	52
4.1 ENTORNO 3D.....	52
4.2 DOTACIÓN DE MOVIMIENTO.....	54
4.3 LÓGICA INTERNA.....	56
4.4 SIMULACIÓN.....	57
4.5 CAPTURAS DE PANTALLA.....	61
5. CONCLUSIONES.....	66
6. LÍNEAS FUTURAS.....	71
7. BIBLIOGRAFÍA	75
8. PLANIFICACIÓN TEMPORAL	79
9. PRESUPUESTO	84
10. ÍNDICE DE LAS FIGURAS	87
11. ÍNDICE DE LAS TABLAS	89
12. ABREVIATURAS/ACRÓNIMOS	91
ANEXO I. LADDER	95
ANEXO II. LÓGICA INTERNA.....	101

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

Desde que a finales del siglo XVIII estallara la primera revolución Industrial, los ingenieros integrantes del proceso de fabricación han buscado siempre la forma de aumentar la producción mediante la reducción de los costes y del tiempo.

Como consecuencia de esta necesidad, a lo largo de los años se han desarrollado distintas revoluciones industriales cuyo objetivo era evolucionar el sistema de producción intentando alcanzar dicha reducción. En 1870 se consiguió mejorar el modelo productivo mediante la introducción del concepto de producción en masa mediante la energía eléctrica y en 1969 se alcanzó una gran reducción de los tiempos y costes gracias a la automatización de la producción a través de la electrónica.

Debido a la vigente necesidad de reducción de tiempo y gasto y gracias a las tecnologías desarrolladas hoy en día, expertos industriales consideran que actualmente se está iniciando la denominada cuarta revolución industrial o Industria 4.0. Dicha revolución industrial está sustentada por diferentes características, siendo las más importantes el internet de las cosas, la nube y la emulación.

- Internet de las cosas: consiste en la interconexión de todos los elementos que componen la fábrica inteligente mediante el intercambio de información con la nube. Gracias a esto, se consigue tener productos identificados a lo largo de toda la línea de producción que permite conocer la velocidad de producción en un tiempo determinado y la posibilidad de realizar cambios en un tiempo real para modificar dicha producción.
- La nube: consiste en el almacenamiento de toda aquella información compartida en la fábrica dotando de alta disponibilidad y escalabilidad a los sistemas informáticos sin depender de los sistemas físicos. Permite reducir las necesidades de hardware hasta un 50% y reducir los gastos de energía en casos ya establecidos y una alta disponibilidad con una gran recuperación de datos ante fallos.
- Emulación: consiste en la representación en un entorno virtual de un proceso físico y real. Todo ello se realiza gracias al Virtual Commissioning que consiste en la puesta en marcha de un proyecto gobernado por un sistema real (PLC) y simulado en un mundo virtual (aplicaciones informáticas de diseño 3D). Las ventajas de la utilización de la emulación son múltiples:
 - Repetitividad: mediante el uso de aplicaciones informáticas virtuales se pueden repetir los procesos industriales todas las veces que se quiera, pudiendo estudiar, analizar y optimizar las mejores alternativas hasta conseguir la situación deseada.

- Mayor seguridad: gracias a la representación exacta de la realidad en un mundo virtual se pueden predecir todos los peligros potenciales que pueden existir tanto para los elementos que componen la planta como para los propios trabajadores de la misma.
- Sistemas críticos: se pueden realizar simulaciones de aquellos sistemas críticos que supongan un problema a la producción sin perjudicar al resto de etapas. Gracias a esto, se consigue reducir el tiempo utilizado ya que no hay que simular todas las etapas anteriores para simular otras.
- Menor tiempo: al tener la posibilidad de una puesta en marcha eficaz como proporciona el Virtual Commissioning, el tiempo de elaboración real de la planta será menor.
- Menor coste: gracias a la representación virtual de elementos caros que forman una planta industrial, puede comprobarse si responden efectivamente a las condiciones requeridas, y si no es así, se deshace de forma virtual reduciendo el coste que ello supondría si se hiciese en la vida real.

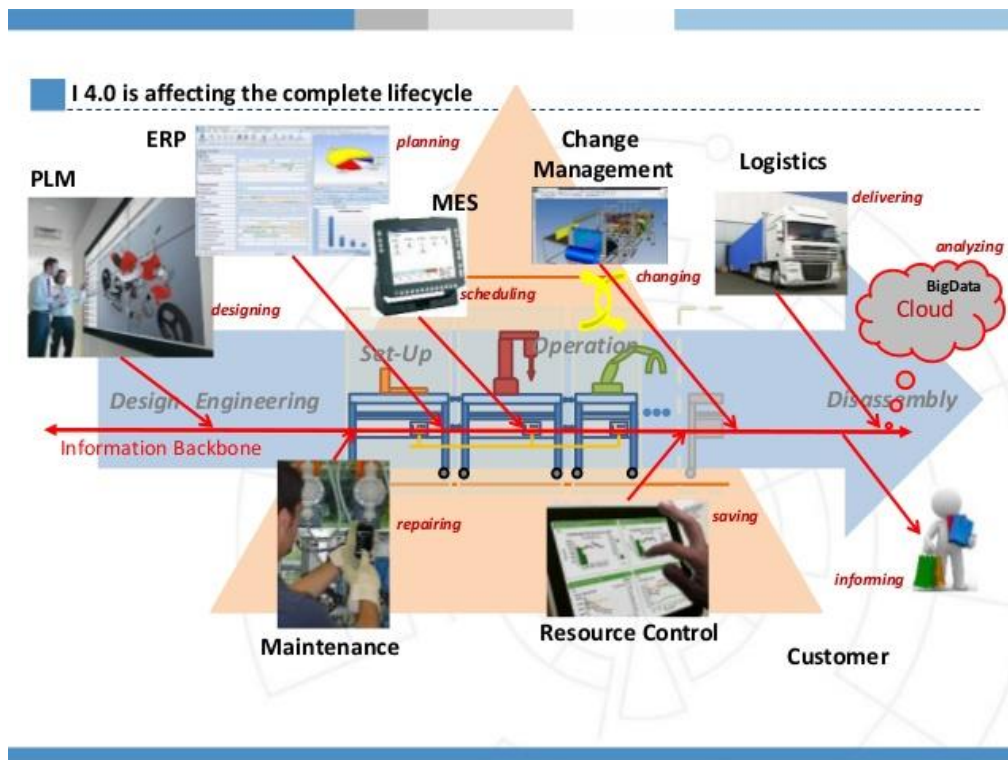


Figura 4. Industria 4.0

La emulación o Virtual Commissioning ha sido uno de los grandes avances tecnológicos que se han desarrollado en los últimos años con mayor reducción del tiempo en la puesta en marcha de una planta industrial. Una parte importante de la pérdida de tiempo en una producción industrial consiste en la verificación. Gracias al Virtual Commissioning, las empresas ya no tienen que poner en marcha la fábrica y comprobar que funciona sino que se puede comprobar de forma virtual.

Existen diferentes formas de comprobar la verificación de una producción industrial:

1. Traditional Commissioning: sistema de control real y planta real.
2. Hardware-in-the-Loop (HIL): control de un sistema con un PLC real y una planta simulada.
3. Reality-in-the-Loop (RIL): se utiliza un PLC simulado y una planta real.
4. Software-in-the-Loop (SIL): donde tanto el PLC como la planta se desarrollan virtualmente.

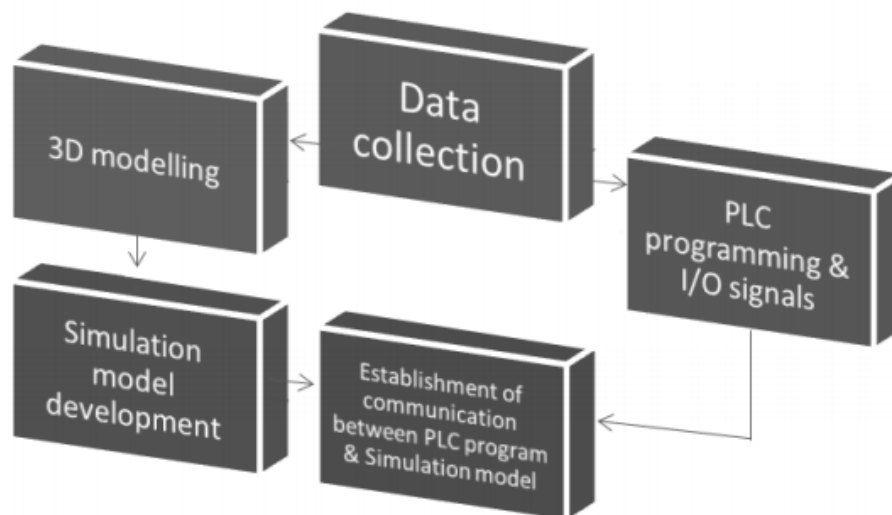


Figura 5. Virtual Commissioning

El proyecto que se presenta se centra en gran medida en una de las características esenciales de la industria 4.0, es decir, la emulación. Consiste en realizar el Virtual Commissioning de una célula robótica utilizando la conexión entre la ingeniería de sistemas (PLC) y el mundo virtual (DELMIA V5). En este caso, el modelo de verificación utilizado consiste en el tipo SIL ya que tanto el PLC utilizado como la célula robótica son virtuales.

Para completar la utilización del Virtual Commissioning se ha utilizado un dispositivo HMI que representa en una pantalla pequeña todo aquello que acontece durante el proceso de producción. La comunicación entre ambos dispositivos debe coincidir en el mismo protocolo de Ethernet TCP/IP para que la información se consiga transmitir de un lado a otro.

La conexión entre el mundo real (PLC) y el mundo virtual (DELMIA) no podrá ser realizada de forma directa y habrá que utilizar determinados programas para que la comunicación sea completa.

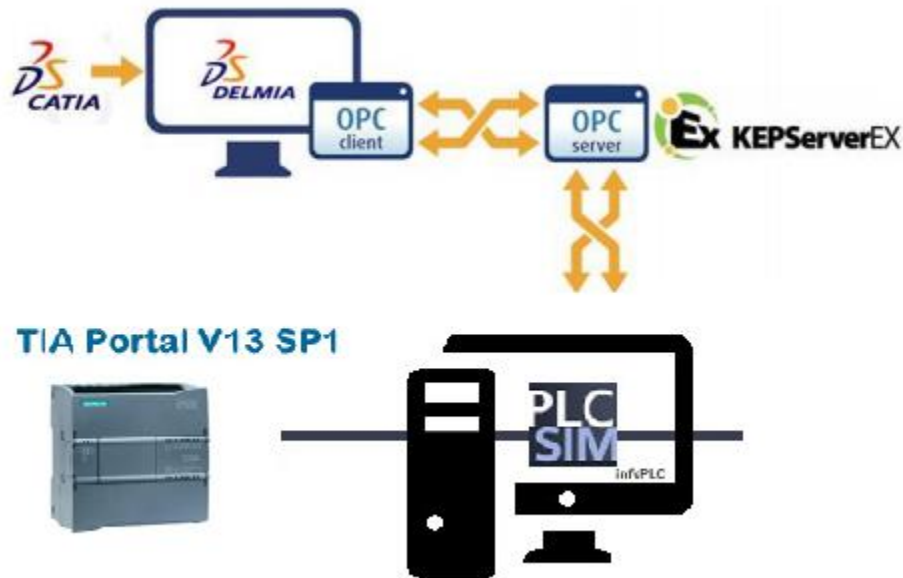


Figura 6. Conexión introducción

Además, se intenta representar pero más superficialmente y en menor medida la conexión de los elementos presentes en la célula, característico del internet de las cosas, ya que tanto los sensores como los robots que se utilizan están conectados bidireccionalmente con el PLC.

También se consigue obtener datos a partir de la utilización del HMI que permite tener a los productos identificados gracias a la visualización del número de piezas que se han realizado y las que quedan por realizar. El poder compartir por internet y analizar dichos datos en una continuación del proyecto completaría la característica esencial del Internet de las cosas.

La tercera pata de la industria 4.0, la nube, no se ha podido englobar en el proyecto debido a la imposibilidad de la adquisición de software que lo permita, debido a la dificultad de licencias necesarias y al requerimiento de grandes ordenadores para desarrollarlo. El siguiente paso de dicho proyecto sería intentar elaborarlo en dichas nuevas plataformas que permitan englobar los componentes de la industria 4.0 y conseguir así una mejor definición del mismo.

CAPÍTULO 2.

OBJETIVOS

2. OBJETIVOS

El proyecto realizado consiste en la elaboración de una célula robótica diseñada virtualmente en una aplicación de diseño 3D que está gobernada utilizando el Virtual Commissioning a través de un PLC virtual.

Entre los objetivos marcados en este proyecto destacan:

- La elaboración de un proyecto viable que permita su puesta en marcha real en el caso que se requiera. Además, se busca conseguir la reducción del tiempo en comparación con una aplicación real gracias a la utilización de la emulación.
- Elaboración de una célula robótica virtual con la mayor utilización de elementos comerciales que consigan dar realismo a la misma. Gracias a la utilización estos elementos comerciales descargados directamente de empresas distribuidoras se consigue que la implantación de la célula en una aplicación real sea más factible.
- Establecer una conexión entre el mundo real (PLC) y el mundo virtual (Delmia), consiguiendo así dar un paso más de la simulación y obtener una emulación donde la puesta en marcha de la célula virtual sea más rápida, fiable y eficaz. Se desarrolla por tanto la etapa de verificación ya explicada y se familiariza con los distintos protocolos de comunicaciones existentes en la industria actual.
- Ahondar en las investigaciones realizadas en el sector del Virtual Commissioning e intentar aplicar características presentes en la creciente Industria 4.0, dejando un camino viable para su desarrollo e investigación en este sector.
- Familiarizarse con herramientas informáticas de diseño en 3D como el CATIA V5, donde se crean y montan los elementos geométricos de la célula, DELMIA V5 que permite la dotación de movimientos a los elementos ensamblados, TIA Portal donde se consigue gobernar los movimientos establecidos mediante PLC simulados y la conexión indirecta entre todos ellos.
- Establecer un demostrador que represente de forma virtual el funcionamiento simulado de una posible célula real, comprobando la inexistencia de errores, posibles accidentes, el correcto funcionamiento del mismo y datos significativos de la producción mediante la ayuda de herramientas establecidas ya en la industria como el HMI.

CAPÍTULO 3.

METODOLOGÍA

3. METODOLOGÍA

3.1 DISEÑO 3D DE LA CÉLULA ROBÓTICA

3.1.1 ENTORNO CATIA

CATIA V5 consiste en un programa informático que facilita soluciones de diseño 3D en un entorno con altas posibilidades de gestión mediante el tratamiento de información y los datos generados.

Se trata de la Gestión del Ciclo de vida del producto (PLM, Product Lifecycle Management), que proporciona aplicaciones de Diseño Asistido por Ordenador (CAD, Computer Aided Engineering) y Fabricación Asistida por Ordenador (CAM, Computer Aided Manufacturing).

CATIA V5 está distribuida en módulos de trabajo en función de la finalidad que vaya a tener. Entre los módulos más utilizados se pueden encontrar el Assembly Design, Part Design y Wireframe and Surface Design, siendo cada módulo compatible con determinados archivos propios del programa y con características diferentes. Los módulos pueden definirse de la siguiente manera:

- Part Design: entorno basado en características en el que se crean modelos sólidos. Los archivos generados en este módulo serán del tipo CATPart.
- Assembly Design: entorno donde se consigue ensamblar los diferentes elementos mediante restricciones. Los archivos creados serán del tipo CATProduct.
- Wireframe and Surface Design: entorno basado en características en las que se crean modelos alámbricos y de superficie. Al igual que en el Part Design, el tipo de archivo creado en este módulo será tipo CATPart.

El programa CATIA V5 no solo permite la realización de piezas simples o complejas, sino que es capaz de crear macros que automatizan la elaboración de las mismas.

Se entiende como parametrización de una macro en CATIA como al conjunto de fórmulas, reglas y checks que determinan una pieza. Las fórmulas dependerán de una serie de parámetros introducidos por pantalla o no que conforman la geometría de la pieza. Las reglas determinan condiciones geométricas que definen la pieza y los checks son comprobaciones geométricas que emiten ventanas emergentes en caso de obtener una pieza con dimensiones no requeridas.

Como se puede observar, el entorno CATIA V5 no es solo una aplicación informática donde se puedan elaborar distintas piezas, sino que va mucho más allá a través de la gestión de los datos o indicaciones introducidas.

3.1.2 DISEÑO 3D


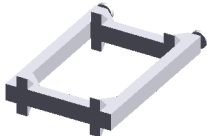


Para desarrollar la célula robótica en 3D, se utilizará el programa CATIA V5 capaz de crear un entorno tridimensional que representa de forma virtual un proyecto real que se quiere llevar a cabo.

El primer paso a realizar consiste en la creación de un archivo formato Product donde estarán incluidos todos los elementos necesarios para definir y completar totalmente la célula robótica. Todos estos elementos, podrán ser del tipo Part o Product en función de la composición de los mismos, es decir, serán tipo Part si el elemento consta únicamente de una pieza de formato Part o si por el contrario consta de varias piezas tipo Part deberán ser recogidas a su vez por un fichero de tipo Product.

Los componentes que se pueden encontrar en el Product principal se pueden dividir en elementos comerciales, aquellos que se pueden adquirir en tiendas comerciales, y elementos no comerciales que constan de aquellas piezas que deben ser manipuladas por los integrantes que desarrollan el proyecto.

Uno de los objetivos de este proyecto reside en la utilización de elementos comerciales que aportan realismo al mismo y permiten una posible puesta en marcha real y factible.

Elementos comerciales

Referencia	Características	3D
Placa reticulada NORELEM (01127-005060)	Placa reticulada de fundición gris GJL 250, donde se fija mediante tornillos el utillaje necesario para apoyar la pieza. <ul style="list-style-type: none">Tamaño: 400 x 500 mm.	
Patatas de la mesa REXROTH (SZ 4/U LEG SET)	Patatas que sustentan la placa reticulada y que conforman la mesa de utillaje.	
Perfil REXROTH (45X45)	Perfil de aluminio que conectan las patas de la mesa. <ul style="list-style-type: none">Sección: 45 x 45	
T-Bolt REXROTH	Perno en forma de T que fija los perfiles con las patas de la mesa. <ul style="list-style-type: none">Tamaño: M8x20	

<p>Cilindro vertical NORELEM (05330-01) Cilindro FESTO</p>	<p>Cilindro vertical, encargado de ejercer una fuerza vertical hacia abajo que impide el movimiento de la pieza en esa dirección al ser mecanizada.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Presión del aire: 6 bar • Fuerza de sujeción: 0.2 KN 	
<p>Cilindro horizontal NORELEM (05340-03) Cilindro FESTO</p>	<p>Cilindro horizontal, encargado de ejercer una fuerza horizontal que impide el movimiento de la pieza en esa dirección al ser mecanizada.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Presión del aire: 6 bar • Fuerza de sujeción: 2.3 KN 	
<p>Sistema de taladros HALDER (EH 1512.000)</p>	<p>Sistema de taladros necesario para posicionar los cilindros sobre las bases donde se apoyan.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Longitud: 74.9 mm • Métrica: M12 • Ancho: 40 mm 	
<p>Soporte de montaje BOMA (LB-40)</p>	<p>Soporte de montaje en escuadra que ejerce de apoyo con respecto a la pieza. Acero galvanizado.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sección: 40 x 40 mm • Altura: 50 mm. 	
<p>Tornillo Allen</p>	<p>Tornillo Allen M8, que fija el soporte de montaje con el perfil.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tamaño: M8 	
<p>Conector BOMA (AV-40)</p>	<p>Conector que comunica el perfil con el soporte de montaje.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sección: 40 x 40 	
<p>Perfil BOMA (40X40)</p>	<p>Perfil que soporta el peso de la pieza. Material aluminio.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sección : 40 x 40 mm 	

Sensor inductivo FESTO (SIED-M18B-ZO-S-L)	<div> <div>Forma</div> <div>✓ M18x1</div> </div> <div> <div>Tipo de montaje</div> <div>✓ Enrasado</div> </div> <div> <div>Salida</div> <div>✓ Apertura</div> </div> <div> <div>Conexión eléctrica</div> <div>✓ Conector M12, codificación A</div> </div> <div> <div>Material del cuerpo</div> <div>Estándar</div> </div>	
Sensor Inductivo FESTO (SIEN-M5B-PO-K-L)	<div> <div>Forma</div> <div>✓ M5x0,5</div> </div> <div> <div>Tipo de montaje</div> <div>Enrasado</div> </div> <div> <div>Entrada/salida de conexión</div> <div>✓ PNP</div> </div> <div> <div>Salida</div> <div>✓ Apertura</div> </div> <div> <div>Conexión eléctrica</div> <div>✓ Extremo abierto</div> </div> <div> <div>Material del cuerpo</div> <div>Estándar</div> </div>	
Gripper neumático SMC (MHL2-10D)	<p>Gripper neumático, que transporta la pieza a mecanizar desde la cinta transportadora al utillaje y de éste a la segunda cinta transportadora.</p> <ul style="list-style-type: none"> Fuerza de presión: 25 N. Punto de presión: 10 mm Presión: 0.6 MPa 	
Fresa SANDVIK (R300-025A20-10M)	<p>Fresa de semidesbaste y semiacabado que utiliza el robot2 para mecanizar la pieza.</p> <ul style="list-style-type: none"> Diámetro de corte: 15 mm Longitud Funcional: 150 mm Profundidad de corte máxima: 6 mm 	
Cinta transportadora ELCOM (modelo 40)	<p>Cinta transportadora encargada suministrar las piezas a la célula robotizada.</p> <ul style="list-style-type: none"> Motor 230 V Potencia 0.09 Kw 	
Valla de seguridad BOMA (ISE-X)	<p>Valla de seguridad que evita contactos potencialmente peligrosos de los robots con los trabajadores o elementos que constituyen la célula.</p>	
Robot KUKA(KR6-1)	<p>Robots utilizados tanto para cargar y descargar la mesa de utillaje como para mecanizar la pieza. Elegido gracias a su versatilidad en la carga y mecanizado de desbaste.</p>	

Tabla 1. Elementos comerciales

Elementos no comerciales:

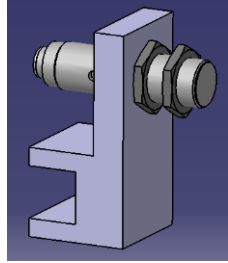
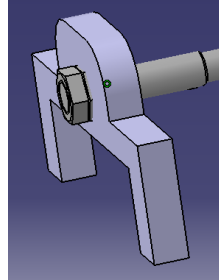
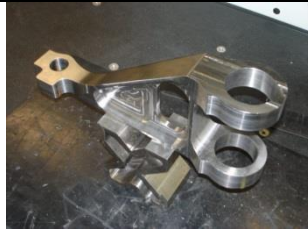
Referencia	Características	3D
Apoyo sensor inductivo 1	Debido a las características geométricas condicionadas por el entorno se ha considerado establecer el apoyo del sensor inductivo como no comercial y cumplir así con las condiciones estrictamente necesarias.	
Apoyo sensor inductivo 2	Debido a las características geométricas condicionadas por el entorno se ha considerado establecer el apoyo del sensor inductivo como no comercial y cumplir así con las condiciones estrictamente necesarias.	
Compás aeronáutico	Al tratarse de la pieza a generar por el proyecto, el compás aeronáutico constituye un elemento no comercial	

Tabla 2. Elementos no comerciales

Para una correcta colocación de la pieza, previo paso a la mecanización, es necesario establecer el utillaje adecuado para impedir que se mueva a la hora de desarrollar dicha mecanización.

Debido a la importancia del proyecto del uso de elementos comerciales, los apoyos elaborados son estructuras modulares establecidas íntegramente por productos adquiridos en formato tipo CAD en sus páginas web.

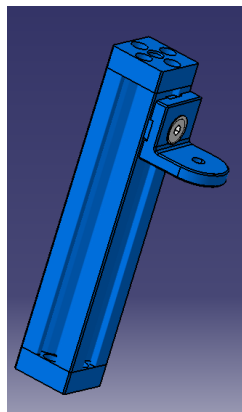


Figura 7. Columna de utillaje

El apoyo utilizado se ha montado mediante un perfil, un soporte de montaje en forma de escuadra y un conector de la empresa BOMA cuyas características se pueden observar en la tabla de elementos comerciales anteriormente descrita. Para finalizar, la columna está fijada mediante un tornillo ALLEN normalizado de métrica 8.

La disposición del utillaje se ha realizado siguiendo la regla del 3-2-1, que consiste en aplicar 3 apoyos en un plano, 2 apoyos en un plano perpendicular y 1 último apoyo perpendicular a ambos.

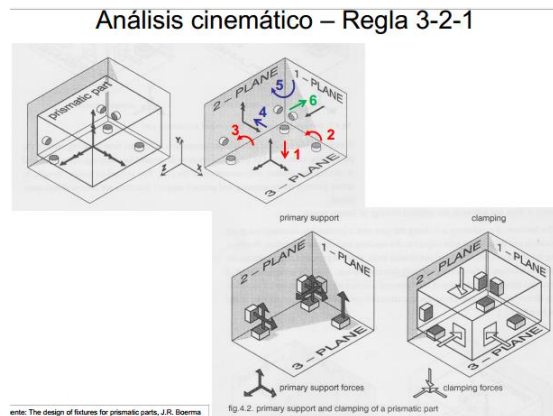


Figura 8. Regla 3-2-1

En este caso se ha establecido en principio 3 apoyos en el plano horizontal, 2 en un plano perpendicular que consta de los dos apoyos existentes a la derecha de la figura, 1 un último apoyo en un tercer plano perpendicular a ambos que consiste en el apoyo situado entre los dos cilindros vaciados (todos ellos marcados con un círculo amarillo). Todos estos se han realizado siempre en caras planas de sección constante para evitar malos apoyos en el asiento del utillaje. Además de los apoyos mencionados, se han incorporado alguno más para tener una estructura más restrictiva sin que modifique las condiciones anteriormente establecidas.

La distribución de los cilindros de apriete (círculos verdes) se ha establecido de forma que se aprieta la pieza hacia la parte de la derecha vista en esta imagen, hacia la parte inferior de la misma, debido a que en la operación de desbaste la pieza podría moverse si no se aplican dichas fuerzas, y hacia abajo para obtener una fuerza vertical que impida que la pieza se levante a la hora de mecanizar por la parte inferior de la pieza.

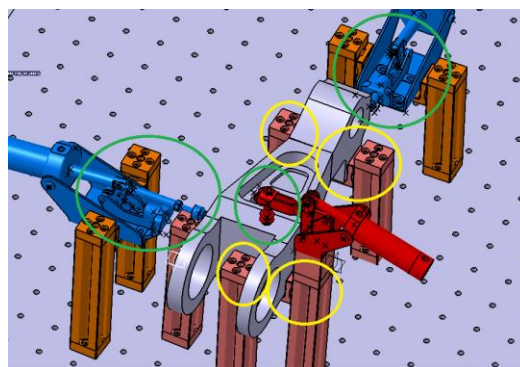


Figura 9. Utillaje

3.2 DOTACIÓN DE MOVIMIENTO

3.2.1 ENTORNO DELMIA

Delmia es una aplicación informática de planificación digital que permite optimizar procesos y sistemas de producción. Además, consigue crear, supervisar y controlar los procesos de una forma virtual en 3D y con la posibilidad de comunicarla con el mundo real.

Delmia presenta una gran cantidad de aplicaciones dedicadas a la industria, elaborando una transmisión de conocimientos, procesos, aplicando siempre las mejores prácticas para la fabricación. Además de gestionar todos estos procesos, la aplicación informática DELMIA V5 permite simular los procesos y recursos de una planta, su definición y el manejo de la producción.

Entre los módulos que se pueden encontrar en DELMIA V5 resaltan aquellos que poseen diferentes librerías de robots, planeador de ensambles, reconocimiento de partes en la planta digital, simulación de proceso, layout y visualización.

En definitiva consiste en una herramienta controlado por ordenador orientada a ingenieros industriales para dar solución a problemáticas en plantas aeroespaciales, automotriz, energía y de construcción de barcos entre otros.

Pertenece al entorno de Dassault Systems, empresa que también suministra CATIA V5 por lo que la trazabilidad y la conexión entre ambos es perfecta. Ambos pertenecen a la nueva versión elaborada por Dassault Systems donde integran estos dos programas entre otros generando el entorno llamado 3D Experience.



Figura 10. Dassault Systems

3.2.2 Creación de mecanismos.

Una vez se ha realizado todo el entorno 3D de la célula robótica, se continúa el proceso mediante la dotación de movimiento a los elementos 3D elaborados. Para ello, se trabaja con el módulo de DELMIA V5 Device Building perteneciente a su vez al módulo Resource Detailing. Este paso de asignar movimientos a piezas solo se llevará a cabo en la cinta transportadora y en los cilindros que aprietan la pieza, ya que los robots ya llevan implícito su comportamiento cinemático al insertarlos en el Product principal.

Para asignar un movimiento longitudinal a la cinta transportadora es necesario crear una línea recta sobre la superficie de la cinta, que sirva de guía al movimiento de la pieza, y dos puntos alineados en la pieza que coincidan con la línea elaborada.

Una vez realizado lo anterior, mediante la herramienta Fixed Part se establece el suelo como elemento fijo del mecanismo, ya que constituye un elemento rígido que conecta tanto las cintas transportadoras como la mesa de utillaje y en consecuencia los cilindros de apriete. Después de fijar el suelo, es necesario establecer como articulación rígida mediante la herramienta Rigid Joint, el suelo y la estructura externa de la cinta transportadora que está en contacto con la superficie plana de la misma.

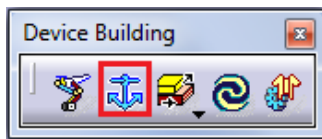


Figura 11. Rigid Joint



Figura 12. Planar Joint

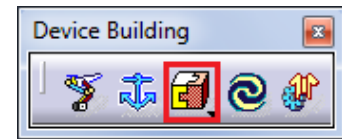


Figura 13. Rigid Joint

A continuación, mediante la herramienta Planar Joint se ejerce una relación planar entre la superficie de la pieza que contiene los puntos ya creados y la superficie de la cinta que posee la línea también elaborada anteriormente. Mediante esta restricción se consigue que la superficie de la pieza y la de la cinta estén en contacto en todo momento pero no es suficiente para constituir el mecanismo. Para conseguirlo, es necesario generar dos restricciones más mediante la herramienta Point Curve Joint, asignando una relación entre cada punto y la línea de la cinta que se ha constituido anteriormente. En este momento, el programa DELMIA V5 informa que el mecanismo se ha establecido y que está en disposición de simularse.



Figura 14. Point Curve Joint

Para asignar un mecanismo a cada cilindro de apriete hay que seguir los siguientes pasos. Como ya se vio anteriormente, el elemento fijo de la célula es el suelo por lo que ahora no es necesario fijar otro elemento. Al igual que en el caso anterior es necesario establecer un vínculo entre el elemento fijo suelo y la estructura externa de los cilindros y para ello se utiliza de nuevo la herramienta Rigid Joint entre el suelo y las patas de la mesa de utillaje, entre las patas de utillaje y la placa reticulada, entre la placa y las columnas de utillaje y éstas a su vez con la estructura externa de los cilindros.

Posteriormente, se utiliza la herramienta Cilindrical Joint que permite establecer dos grados de libertad, longitudinal y rotacional, entre el agujero de la estructura externa del cilindro y el vástago del cilindro, consiguiendo así que el programa DELMIA V5 muestre el mensaje de que el mecanismo está listo para simularse.

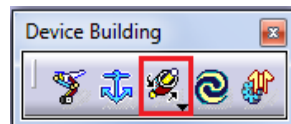


Figura 15. Cilindrical Joint.

Una vez realizado todo el proceso anterior, se puede observar en el árbol de DELMIA los grados de libertad del mecanismo y se puede comprobar su funcionamiento mediante la herramienta Jog Mechanism capaz de dar valores a los grados de libertad desarrollados.

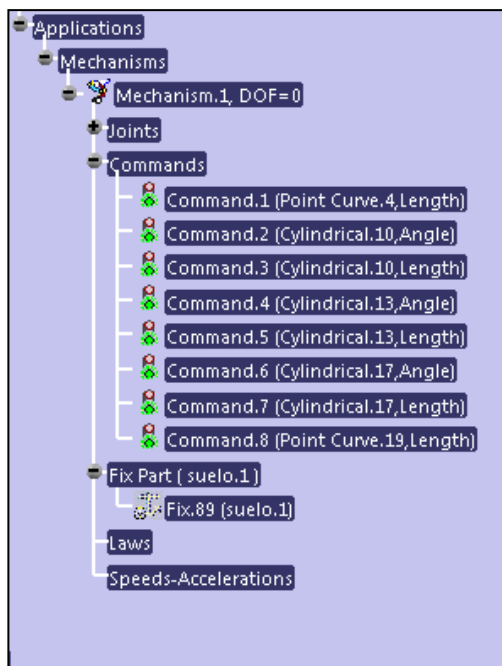


Figura 16. Árbol del mecanismo

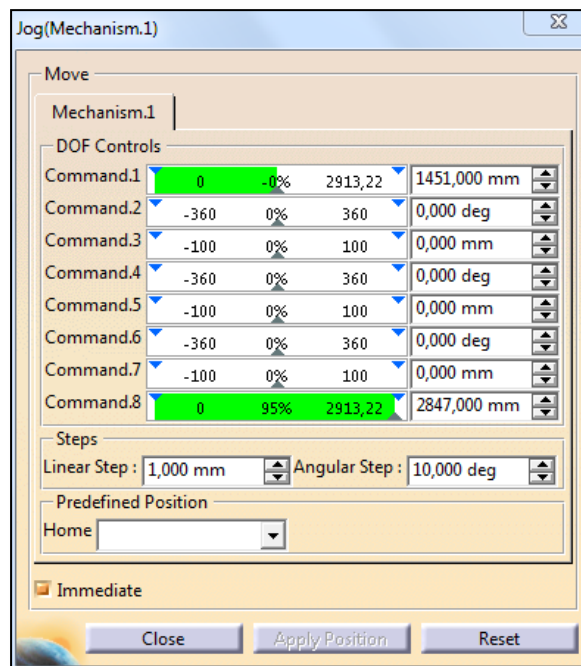


Figura 17. Jog Mechanism

Como ya se ha comentado anteriormente, los robots elegidos del catálogo de DELMIA V5 ya contienen intrínsecamente el mecanismo asociado, por lo que no será necesaria llevar a cabo estos pasos para los robots.

3.2.3 Definición de tareas.

Con los grados de libertad establecidos tanto de la cinta transportadora, de los cilindros de apriete como del mecanismo de los robots, ahora se lleva a cabo la elaboración de Tasks que graban el movimiento de los mecanismos y que representan el movimiento simulado que será accionado por las variables del plc.

Para ello, se utiliza el módulo Device Task Definition, perteneciente al módulo Resource Detailing, que abrirá una ventana emergente de tipo P.P.R. (Process, Product, Resource) de formato tipo Process. Este archivo consta en su árbol de un Process encargado de establecer todos los procesos que se llevan a cabo, un Product que constituye aquellos elementos que se quieren manipular y un Resource donde se encuentran todos los mecanismos que dan lugar al movimiento.

En función de este tipo de estructura del programa DELMIA V5, se introducirá en el Product el compás aeronáutico, pieza que se manipula mediante la carga y descarga, y se establecerá como Resource el Product inicial que contiene los mecanismos establecidos anteriormente en conjunto con los robots que se pueden introducir mediante el catálogo de DELMIA V5.

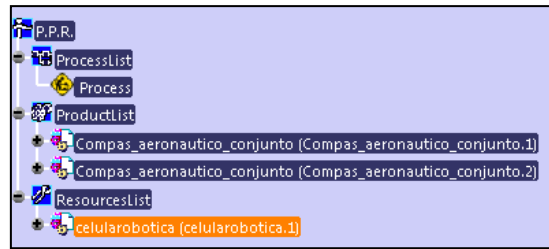


Figura 18.Árbol P.P.R

Ante la imposibilidad de poder levantar y depositar una pieza dos veces, se ha llegado a la conclusión de insertar dos Product de la pieza Compás aeronáutico en el ProductList para poder llevar a cabo la simulación requerida.

A continuación, dentro del módulo de Process se comienza a establecer las tareas mediante la herramienta Teach, perteneciente al grupo Robot Managment.

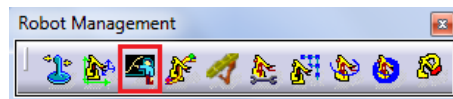


Figura 19. Robot Managment

Una vez seleccionada la herramienta Teach se hace click sobre el mecanismo donde queremos grabar una tarea. Posteriormente se abre una ventana emergente donde se podrá crear nuevas tareas, modificar la posición relativa del mecanismo mediante la manipulación directa del elemento o mediante la utilización del Jog y grabar esa posición mediante la herramienta insert.

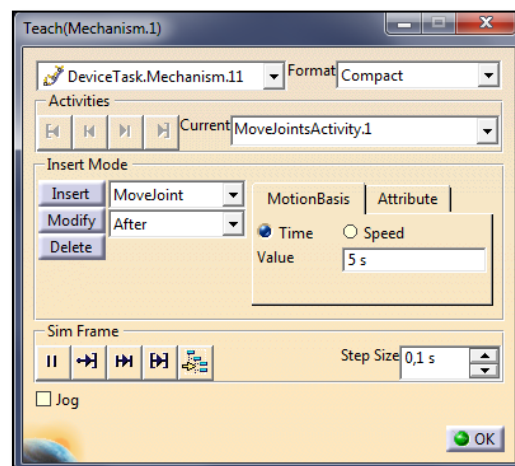


Figura 20. Teach

Mediante esta herramienta, se graba la posición de la pieza al final de la cinta transportadora y a su vez se graba la posición de los cilindros en posición de apriete. Mediante esta acción se consigue generar un programa donde está asociada cada tarea que

serán manipuladas mediante el plc y en consecuencia por su lógica interna, dando lugar a la simulación que se requiere.

Por otro lado se dispone a generar las tareas correspondientes de los robots, pero para ello se tendrá que llevar a cabo ciertos pasos. Para poder mover el robot deberá ser necesario establecer un Device que comunique el movimiento, en el caso del robot encargado de la carga y descarga será un gripper y en el caso del robot de mecanizado una fresa.

Para poder definir este Device es necesario que tanto el gripper como la fresa sean un mecanismo por lo que se seguirá los procedimientos ya explicados en el apartado de creación de mecanismos para llevarlo a cabo. En el caso de la fresa se utiliza la misma herramienta, Cylindrical Joint, utilizada en el caso de los cilindros ya que será necesario el grado de libertad rotacional. Para el caso del Gripper se realizará un mecanismo con un grado de libertad prismático que permita abrir y cerrar el Gripper en función de si se quiere depositar o elevar la pieza respectivamente. Para ello, se utiliza la herramienta Prismatic Joint donde se hace coincidir un plano y una línea de la pieza móvil con otro plano y otra línea de la pieza fija.



Figura 21. Planar Joint

Generados los mecanismos, el programa se encuentra en disposición de establecer un vínculo entre el robot y el device determinado. Para ello, se utiliza la herramienta Set Tool donde se asigna como elemento robot el robot kuka seleccionado del catálogo y como device el correspondiente gripper o fresa escogidas. Una vez realizado este paso, el device estará ligado al robot y en consecuencia cuando se modifica la posición del device en el espacio, el programa calcula automáticamente la posición correspondiente del robot. Gracias a este paso, la generación de trayectorias de los robots es más sencilla y especialmente en el caso del robot de mecanizado, el cual debe llevar a cabo movimientos complejos a la hora de simular el desbaste de la pieza.

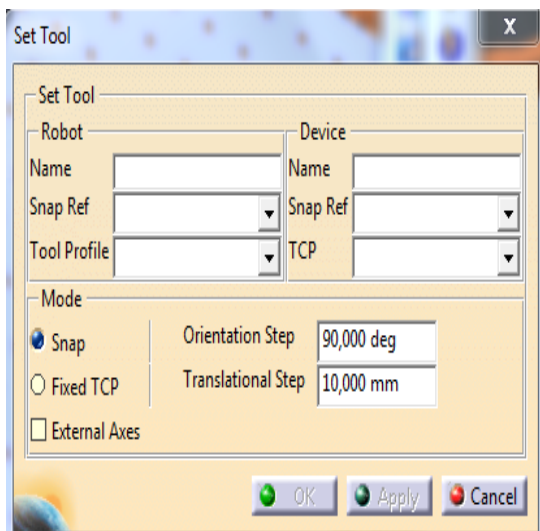


Figura 22. Set Tool

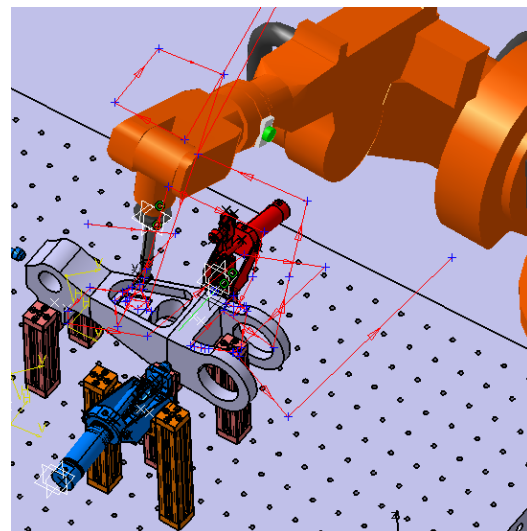


Figura 23. Trayectorias Robot2.

3.3 PROGRAMACIÓN

3.3.1 ENTORNO TIA PORTAL

TIA Portal es una herramienta informática capaz de englobar distintos lenguajes de programación y permitir en una sola herramienta la conexión y trazabilidad con muchas otras.

Dentro de TIA Portal existen diferentes módulos que permiten el control de toda la automatización productiva. Entre los módulos que nos podemos encontrar destacan el SIMATIC STEP Y EL WIN CC.

El módulo SIMATIC STEP consiste en un software que permite configurar, programar, revisar y diagnosticar todos los controladores SIMATIC. Entre las diferentes aplicaciones que puede desarrollar se encuentran:

- Programación simbólica: reduce la complejidad en la programación y la gestión de datos.
- Editores inteligentes de alto rendimiento: ahorra el tiempo de desarrollo del uso de KOP, FUP, Graph... El editor de programación que se establece en este proyecto es el KOP.
- Descarga y carga de programación coherente: al cargar toda la simbología y comentarios son cargados al instante.

El módulo WINCC consta de una herramienta de ingeniería para configurar desde un panel básico HMI hasta un sistema SCADA. Esta es la herramienta utilizada para la elaboración de una pantalla HMI que controla el PLC simulado.

Además será necesario utilizar el programa PLC sim, que simula en el ordenador la existencia de un PLC. La conexión entre los distintos programas de TIA Portal es esencial ya que todos deben comunicarse de forma rápida, certera y precisa.

Se utilizará el módulo de SIMATIC para la elaboración del programa Ladder, posteriormente se desarrollará el HMI gracias a la herramienta WINCC y finalmente todos estos datos deberán ser cargadas en un PLC virtual dentro de la herramienta PLCsim.

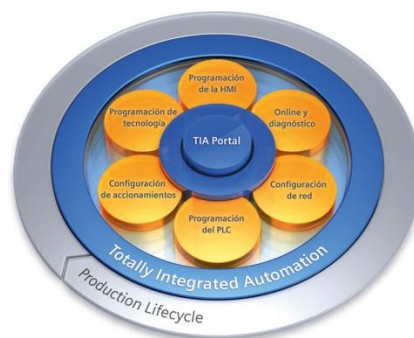


Figura 24. TIA Portal

3.3.2 Programación PLC

Realizado ya el entorno virtual que compone la célula robótica y los mecanismos que rigen el movimiento de la misma, el proyecto continúa con la elaboración de la programación que permita su simulación. Para poder llevar a cabo este paso, se utiliza el programa TIA Portal de la empresa Siemens que consiste en un programa real utilizado actualmente en la industria. Gracias a esto, la programación realizada tendrá un valor real ya que en cualquier momento puede ser exportado a la industria actual con una puesta en marcha rápida y eficaz.

Entre los entornos de programación existentes, se ha escogido el tipo Ladder o KOP debido a su facilidad de uso y por su extensa aplicación en entornos industriales actualmente. Además, se realiza también la implementación de una simulación de HMI que permite observar, en una pantalla externa a la célula, la secuencia de operaciones y los datos más relevantes que se desarrollan en la misma.

El primer paso a realizar consiste en la iniciación del programa TIA Portal y la creación de un proyecto.

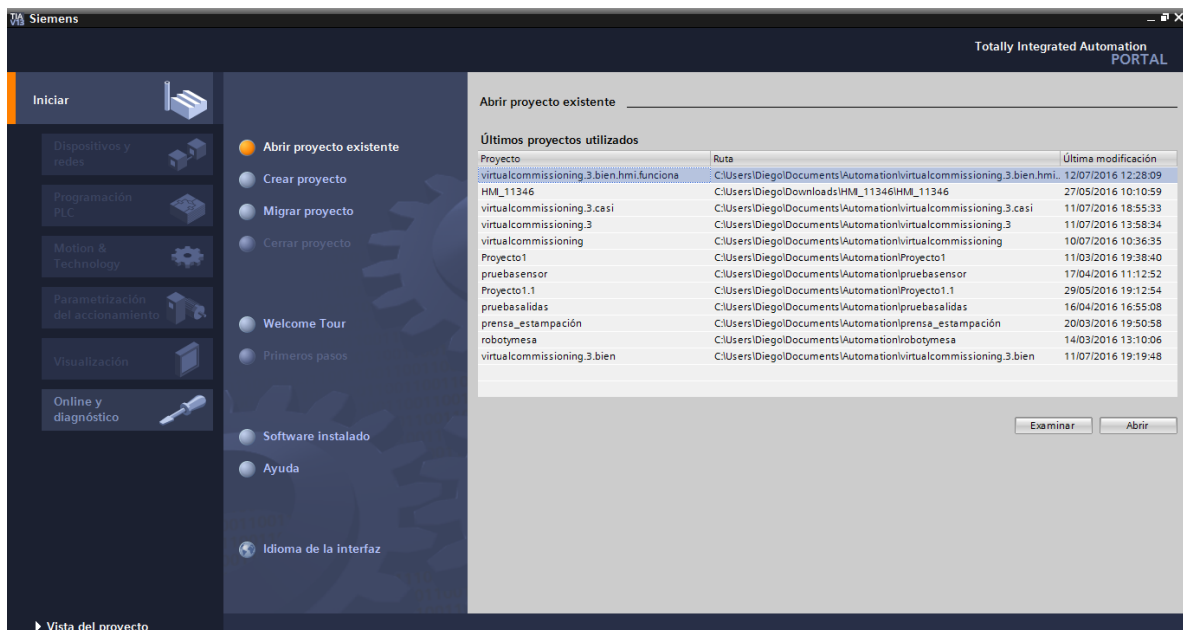


Figura 25. TIA Portal.

Seguidamente, es necesario añadir un dispositivo PLC que rija todo el funcionamiento de la programación que se va a desarrollar. Mediante la función agregar dispositivo se podrá acceder a un catálogo suministrado por TIA Portal donde se puede elegir distintos tipos de modelos PLC. Entre los modelos existentes se ha elegido el controlador S7-300 CPU 312 que establece una comunicación con una interfaz MPI (Multi Point Interface) necesaria para poder comunicarse posteriormente con el módulo HMI.

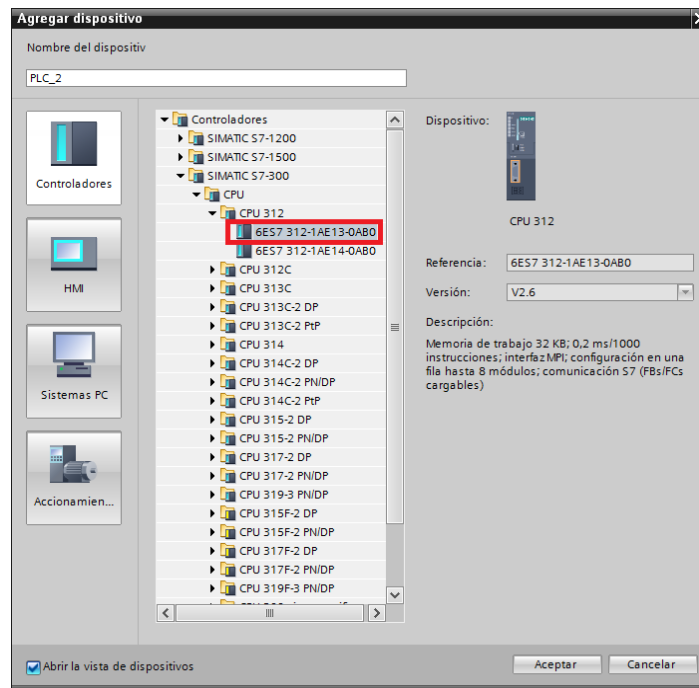


Figura 26. Controlador.

Una vez se ha establecido un controlador, el programa genera determinados bloques para desarrollar la programación tipo Ladder. Entre los bloques utilizados se pueden encontrar la tabla de variables y el main. El primer paso a realizar consiste en crear las distintas variables que rigen el programa con sus correspondientes direcciones y posteriormente se manipulará el main para generar la programación requerida.

El criterio utilizado para asignar las direcciones de las distintas variables consiste en organizar las direcciones dependiendo de su utilización en el programa Ladder. Para aquellos pulsadores que son utilizados por los operarios de la célula se les asigna las direcciones M1.x, para aquellas marcas que son generadas debido a la entrada de variables procedentes del programa DELMIA V5 se les asigna las direcciones M2.x, para las propias variables que provienen del programa DELMIA V5 M3.x, para las marcas que consisten en las salidas del PLC que rigen el comportamiento de los mecanismos M4.x y finalmente se relacionan las distintas etapas del Grafset con M5.x.

Además de estas marcas, se han generado otras variables como contadores, temporizadores o variables decimales que dan sentido al resto de la programación.

1	PM	Tabla de variables e..	Bool	%M1.0
2	PE	Tabla de variables e..	Bool	%M1.1
3	PC1	Tabla de variables e..	Bool	%M1.2
4	PP	Tabla de variables e..	Bool	%M1.3
5	REAR	Tabla de variables e..	Bool	%M1.4
6	Salida_Sensor_1	Tabla de variables e..	Bool	%M2.0
7	Robot1Output_1	Tabla de variables e..	Bool	%M2.1
8	Salida_Sensor_2	Tabla de variables e..	Bool	%M2.2
9	Robot2Output	Tabla de variables e..	Bool	%M2.3
10	Tag_5	Tabla de variables e..	Bool	%M2.4
11	Robot1Output_2	Tabla de variables e..	Bool	%M2.5
12	Sensor1_delmia	Tabla de variables e..	Bool	%M3.0
13	Sensor2_delmia	Tabla de variables e..	Bool	%M3.1
14	OutPut1_delmia	Tabla de variables e..	Bool	%M3.2
15	OutPut2_delmia	Tabla de variables e..	Bool	%M3.3
16	OutPut3_delmia	Tabla de variables e..	Bool	%M3.4
17	Cinta_transportadora	Tabla de variables e..	Bool	%M4.0
18	Robot1_accion_1	Tabla de variables e..	Bool	%M4.1
19	Robot_2	Tabla de variables e..	Bool	%M4.2
20	Cilindros	Tabla de variables e..	Bool	%M4.3
21	Robot1_accion_2	Tabla de variables e..	Bool	%M4.4
22	X10	Tabla de variables e..	Bool	%M5.0
23	X11	Tabla de variables e..	Bool	%M5.1
24	X12	Tabla de variables e..	Bool	%M5.2
25	X13	Tabla de variables e..	Bool	%M5.3
26	X14	Tabla de variables e..	Bool	%M5.4
27	X15	Tabla de variables e..	Bool	%M5.5
28	X16	Tabla de variables e..	Bool	%M5.6
29	Tag_2	Tabla de variables e..	Word	%MW10
30	Tag_3	Tabla de variables e..	Tímer	%T1
31	Tag_4	Tabla de variables e..	Tímer	%T2
32	Tag_1	Tabla de variables e..	Counter	%C1
33	numero piezas a fabricar	Tabla de variables e..	Counter	%C2
34	número de piezas fabricadas	Tabla de variables e..	Counter	%C3

Figura 27. Tabla de variables.

Después de generar las distintas variables que se necesitan, el siguiente paso es modificar el main para llevar a cabo la programación que se requiere.

La programación del main se va a llevar a cabo mediante una traducción a mano de un grafcet inicial debido a la facilidad que este procedimiento supone a la hora de desarrollar el entorno Ladder. Por este motivo, el núcleo duro del main consiste en 6 Set-Reset (marcas M5.x), equivalentes a las etapas de un grafcet, que se activan o desactivan en función de las receptividades correspondientes.

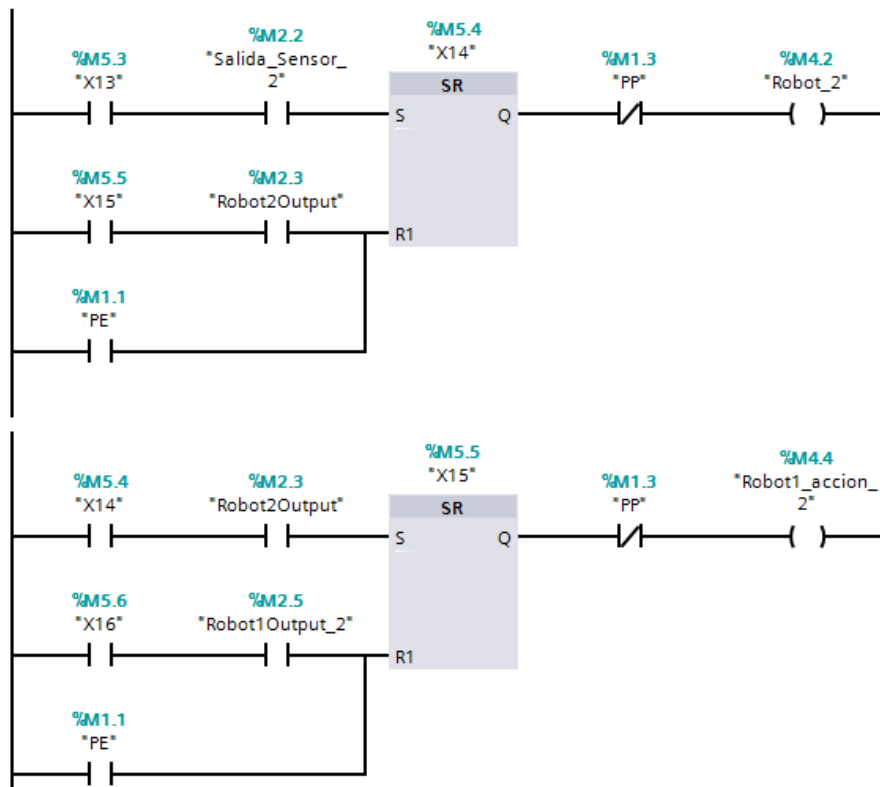


Figura 28. Ejemplo Set-Reset

Por otro lado, es necesario establecer una serie de marcas que devuelvan un valor cuando las variables procedentes de DELMIA V5 adquieran valores true. Para ello, se lleva a cabo la siguiente estructura:

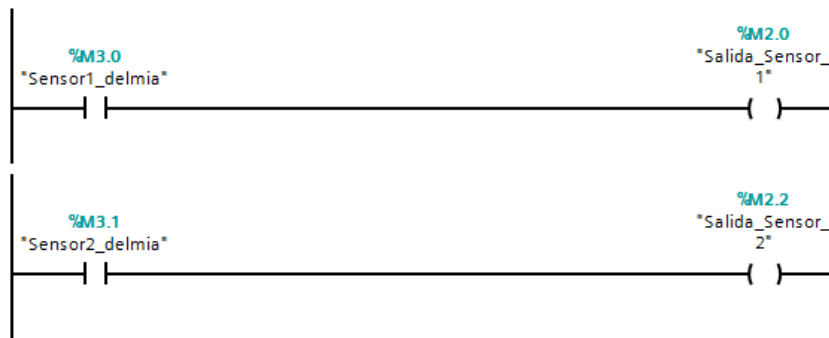


Figura 29. Estructura sensores.

Para finalizar, entre las distintas variables del main se pueden encontrar temporizadores, que se encargan de evitar que el programa corra de una pasada todas las variables al terminar un ciclo de mecanizado de pieza y contadores, que establecen variables como el número de piezas a fabricar o el número de piezas fabricadas hasta el momento que son visibles en el HMI.

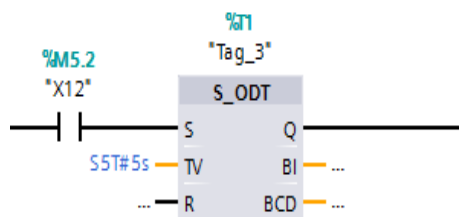


Figura 30. Temporizador.

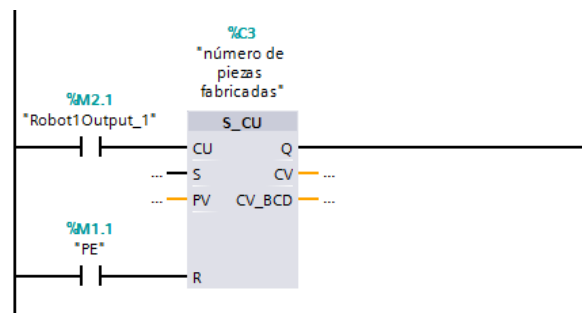


Figura 31. Contador

3.3.3 HMI

Para poder completar la interfaz Hombre-Máquina, se introduce un dispositivo HMI que permita saber en todo momento la situación que transcurre en la célula robótica mediante una pantalla externa. Gracias a esto, no es necesario estar a pie de máquina para saber cómo se desarrolla el proceso, sino que basta con tener un dispositivo manejable y fácilmente transportable como el HMI que permite obtener cualquier información que transcurre en la célula con las múltiples ventajas que ello conlleva a la hora de aumentar la productividad o para una posible futura modificación de la planta.

El primer paso a realizar consiste en agregar una pantalla HMI mediante la herramienta Agregar un dispositivo como en el caso anterior pero esta vez se elige la pestaña HMI. Al igual que antes el programa TIA Portal proporciona un catálogo de pantallas HMI de diferentes tamaños y comunicaciones a la elección del usuario.

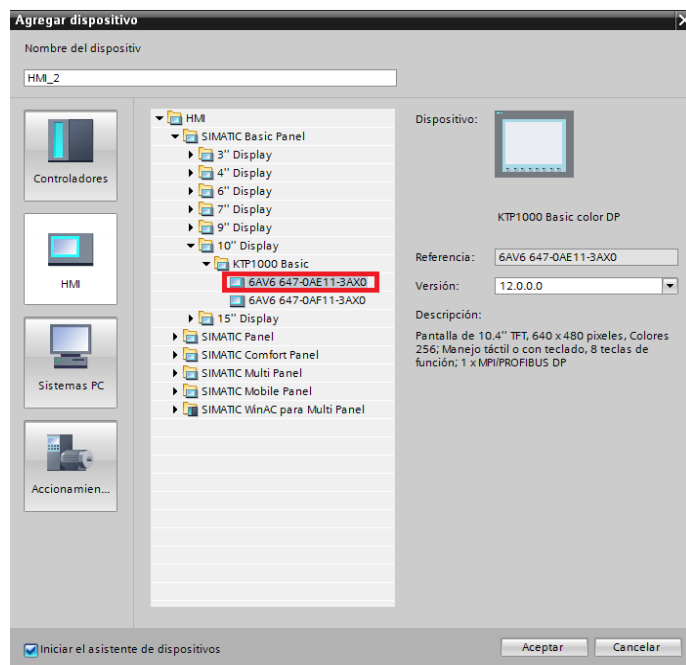


Figura 32. Elección HMI

Para las características de este proyecto se ha elegido el dispositivo KTP1000 Basic color DP, 10,4 pulgadas, con manejo táctil y con interfaz MPI. Se ha seleccionado este tipo de dispositivo de 10,4 pulgadas para poder obtener una imagen grande y clara de los datos, de manejo táctil ante una posible configuración en planta en la que sea necesaria una pantalla táctil de fácil manipulación y una interfaz MPI que permita comunicarse correctamente con el PLC seleccionado anteriormente.

Una vez elegido el tipo de HMI, se continúa el proceso con la selección de la imagen raíz y la asignación de los distintos botones que componen la misma.

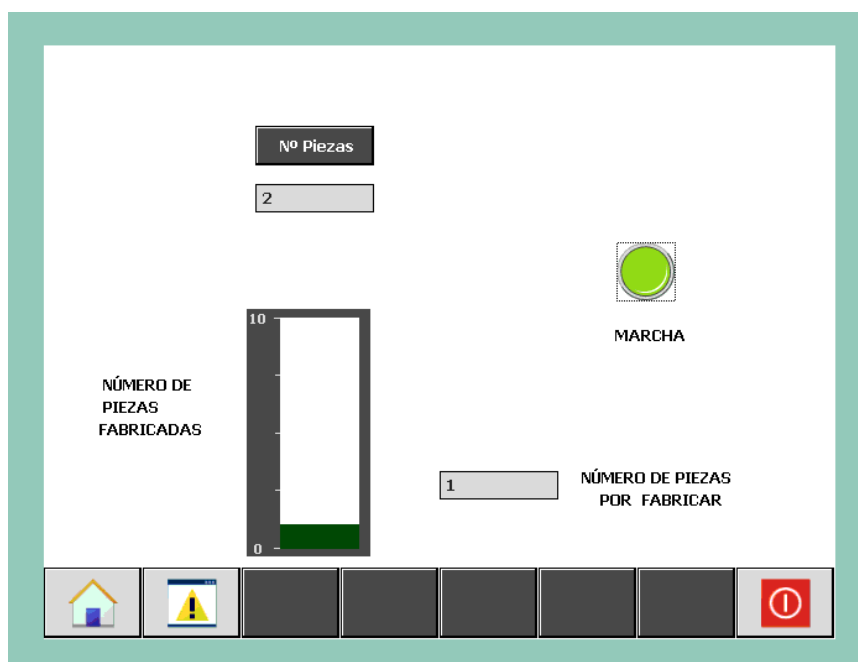


Figura 33. Imagen raíz

La imagen raíz consta de un pulsador luminoso de puesta en marcha, donde habrá que pulsar para iniciar el proceso, un pulsador estándar llamado número de piezas donde se podrá hacer click y aumentar el número de piezas que se quieren realizar durante el proceso y finalmente dos salidas de pantalla, una en forma de gráfico (número de piezas fabricadas) en el cual se observa el número de piezas que se han realizado en un determinado momento y un último recuadro que permite identificar el número de piezas que quedan por fabricar para terminar la producción.

Para poder llevar a cabo este procedimiento es necesario crear las variables que se van a utilizar en el HMI y asociarlas con las ya creadas en el PLC.

Nombre	Variable PLC	Dirección
C1_HMI	Tag_1	%C1
C2_HMI_1	"numero piezas a fabricar"	%C2
C3_HMI_1	"número de piezas fabric..."	%C3
PC1_HMI	PC1	%M1.2
PM_HMI	PM	%M1.0

Figura 34. Variables HMI.

Además es necesario comunicar todos los elementos establecidos en la imagen raíz con un evento asociado a las variables del HMI creadas y por consecuencia a las del PLC.

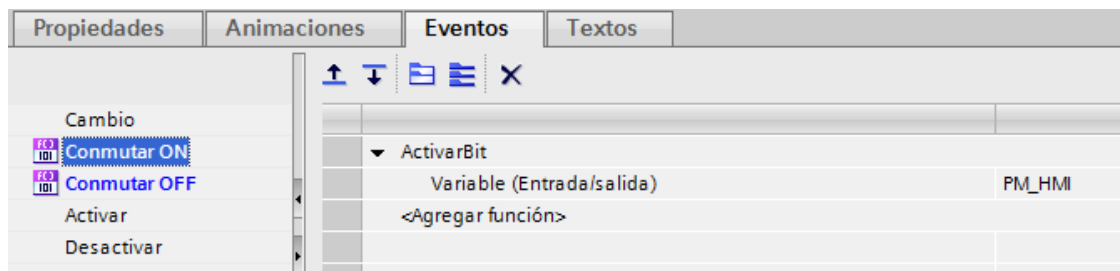


Figura 35. Asociación de botones.

Gracias a todos estos datos, es posible mejorar el día a día de la producción y una posible modificación ya que si sabemos, en todo momento, el número de piezas fabricadas y el número de piezas por fabricar se puede obtener la velocidad de producción que se está llevando a cabo mediante el control del tiempo al inicio de la puesta en marcha. Con estos datos se pueden tomar acciones durante el proceso que permitan aumentar la velocidad de producción o por el contrario reducirla, aspecto diferenciador de la industria 4.0 respecto a las anteriores.

3.4 CONEXIÓN SISTEMA REAL Y SIMULACIÓN

Una vez se ha realizado tanto la creación de las tareas de los mecanismos como de la programación de la ingeniería de sistemas es necesario crear la lógica interna de cada mecanismo que se va a comunicar con el PLC correspondiente.

Para ello, es necesario utilizar el módulo de DELMIA V5 Logic Design donde se encuentra el CLM Device Logic Design y seleccionar la herramienta Add internal logic que permite crear una lógica interna en el Product donde está alojado el Program creado que guarda las tareas realizadas.

Realizada esta operación, se habilita en el árbol de DELMIA V5 una lógica interna con un Main que a su vez contiene un Behavior donde se puede modificar dicha lógica interna. Una vez allí, se crea una macro tipo main que gobernará el programa y se generan las diferentes etapas que transcurren en el proceso. Como hay un mecanismo y dos robots, habrá que realizar esta operación 3 veces asignando una lógica interna al mecanismo general del product y otra para cada robot.

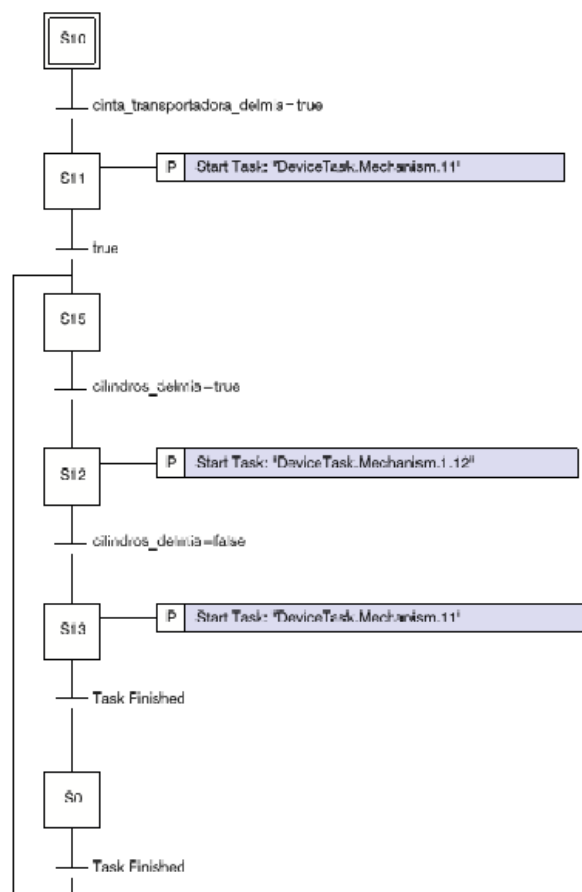


Figura 36. Lógica interna mecanismo.

En cuanto a la lógica interna del mecanismo de la célula se puede observar en la siguiente imagen como sigue la secuencia del diagrama escalera realizada en TIA Portal activando el Task Mechanism 11 (avance de la cinta transportadora) cuando la variable de la cinta transportadora en delmia está activada y como los cilindros aprietan la pieza mediante el Task Mechanism 1.12 cuando la variable cilindros delmia obtiene un valor verdadero. Al igual que en TIA Portal, la lógica interna sigue un proceso cíclico que empezará de nuevo si se quieren realizar más de una pieza.

Por otra parte, se lleva a cabo la lógica interna independiente de los robots restantes.

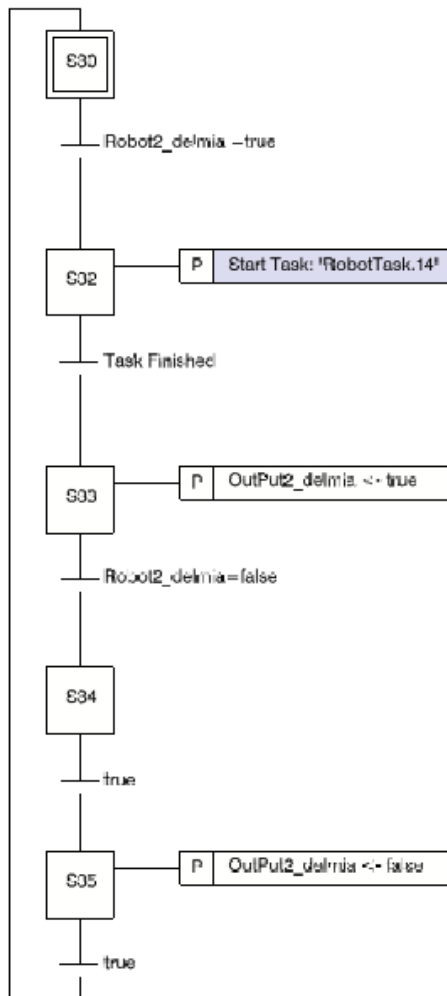


Figura 37. Lógica interna Robot 2.

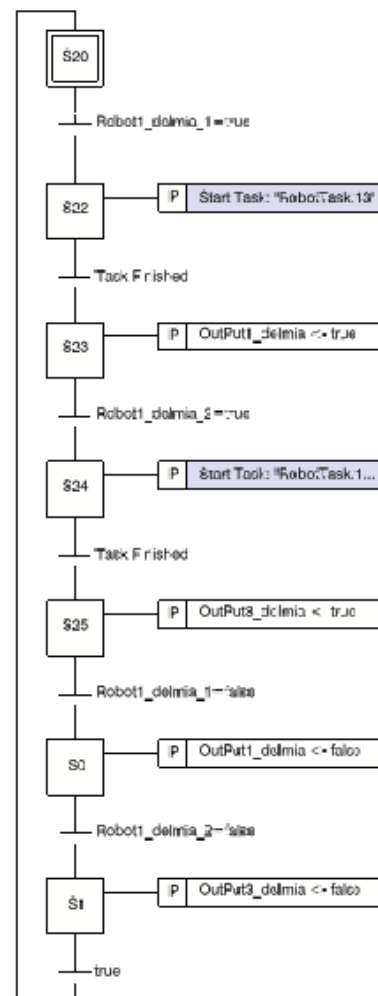


Figura 38. Lógica interna Robot 1.

En estos casos, se puede observar cómo se inician las tareas Robot.Task.14, Robot.Task.13 y Robot.Task.1117 cuando se activan las variables Robot2_delmia, Robot1_delmia_1 y Robot1_delmia1 respectivamente. Además, cuando estas etapas terminan se ha insertado otras a continuación que devuelven una variable con valor igual a 1 que reflejan que las operaciones de los robots han terminado. A su vez, es necesario que estas variables tipo OutPut vuelvan a un valor falso cuando se quiere volver a un estado inicial y poder realizar un segundo ciclo para elaborar una segunda pieza.

Realizadas estas operaciones, ya se está en disposición de llevar a cabo la conexión entre el mundo real (la ingeniería de sistemas) y el mundo virtual simulación DELMIA V5).

3.4.1 CONEXIÓN DE LA CÉLULA CON EL PLC

Lo realizado hasta ahora solo puede ser simulado en el entorno virtual de simulación del programa DELMIA V5 y para conectar el mundo real con éste es necesario realizar una serie de pasos.

3.4.1.1 Conexión PLC-OPC Server

El primer paso a realizar consiste en cargar el programa Ladder realizado en TIA Portal en un PLC Sim virtual que simula la carga en un PLC real en nuestro ordenador. Lo importante de esta operación es que la conexión de este PLC Sim debe utilizar la conexión Ethernet mediante el protocolo TCP/IP necesario para comunicarse con el OPC Server.

Como el OPC Server va a ser el intermediario entre los dos mundos, es necesario crear las variables que se van a transferir en este OPC. Para ello, debe ejecutarse el programa KepServerEx V4.0 donde se crea un canal, de nombre célula robótica, donde se alojan las distintas variables que se van a utilizar.

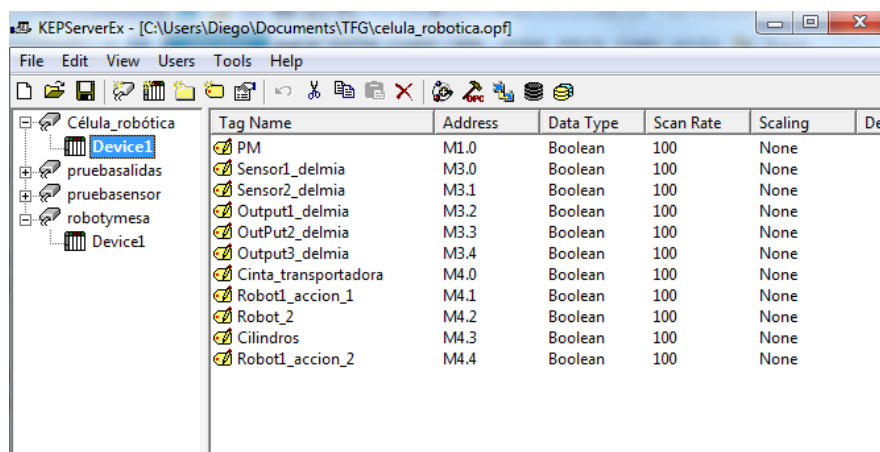


Figura 39. KEPServerEx

Para crear un canal se debe hacer click derecho en el espacio del árbol y seleccionar New Channel.

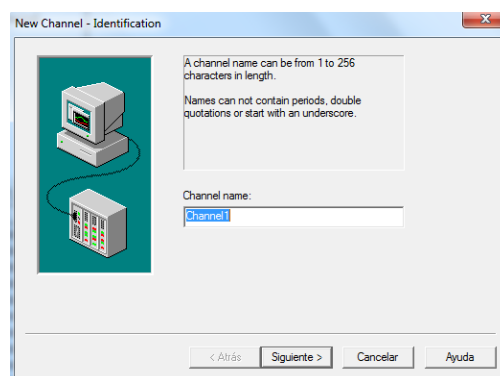


Figura 40. Channel.

A continuación, se selecciona el device driver Siemens TCP/IP Ethernet, al igual que la conexión elegida en el PLC. Como se ha comentado anteriormente, es imprescindible que tanto el PLC y el OPC Server tengan el mismo dispositivo de comunicación ya que en caso contrario la información no puede ser transferida.

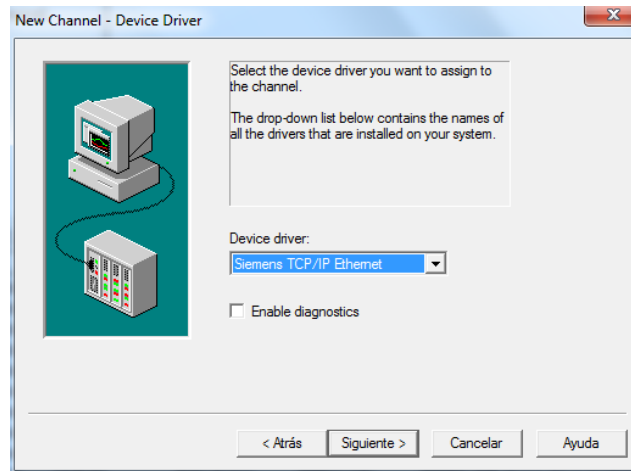


Figura 41. Siemens TCP/IP Ethernet.

Una vez creado el device, se deberá establecer las distintas variables que van a comunicarse con el PLC Sim. Para generar una variable es necesario hacer clic derecho en la ventana de la derecha y seleccionar la opción New Tag.

Inmediatamente, aparece una ventana emergente donde se debe rellenar el nombre de la variable que se quiere crear en el OPC, la dirección que hace referencia en el PLC y el tipo de dato establecido.

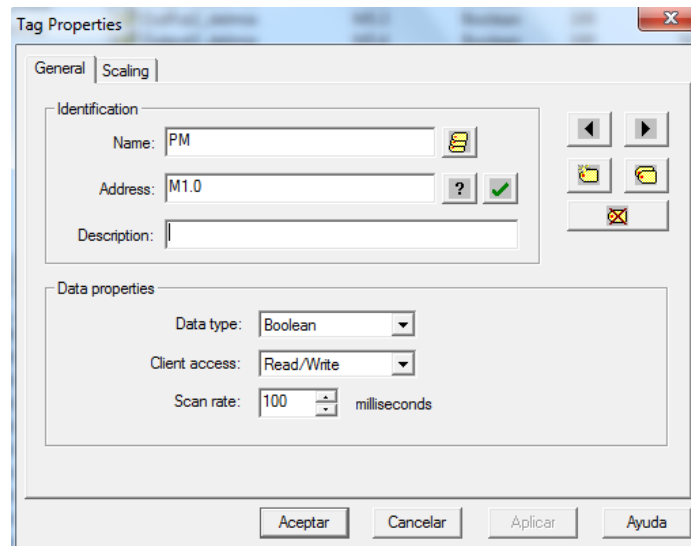


Figura 42. Variables OPC

Posteriormente, se establece el modelo del dispositivo que se va a conectar, en este caso S7-300 y la dirección IP a la cual está conectado el ordenador donde se realiza la simulación.

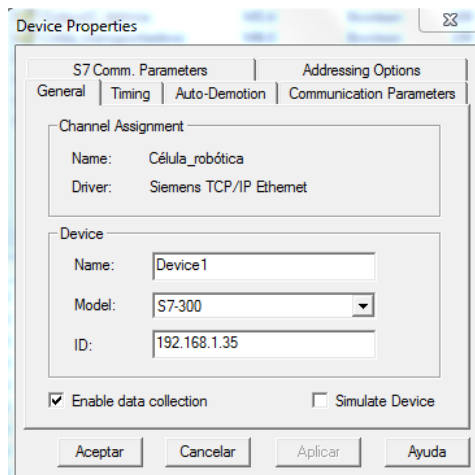


Figura 43. Propiedades del dispositivo.

Realizado este último paso, ya se han creado lo necesario para que el OPC reciba la información del PLC pero este último no puede enviarlo por sí solo. Para solucionarlo se debe ejecutar el programa Nettoplcsim como administrador y añadir una nueva estación con la dirección IP de la red a la que está conectada el ordenador y la dirección del PLC virtual cargado. Para finalizar, se hace click en el botón Start y es en ese momento en el que la conexión entre el PLC y el OPC Server y en consecuencia con DELMIA V5 ya es posible.

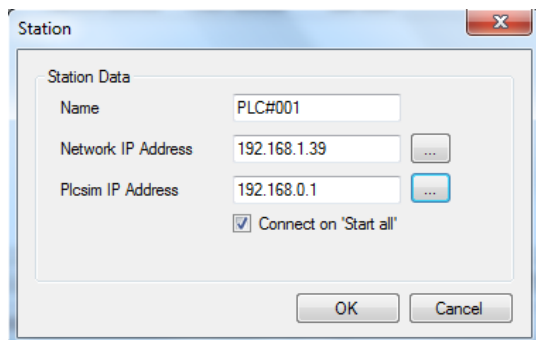


Figura 44. Estación

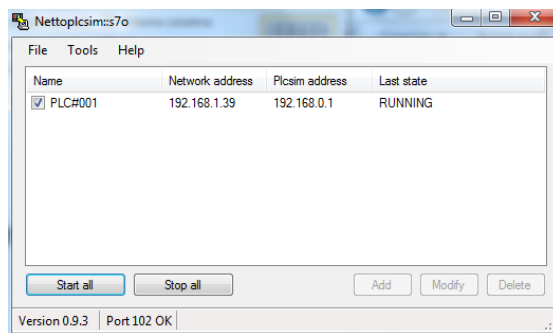


Figura 45. Conexión Nettoplcsim

Para poder establecer una correcta conexión debe desarrollarse el proceso en el orden en el que se ha descrito, ya que si no es así la comunicación no se llevará a cabo, debido a que se debe detener el puerto 102, necesario para TIA Portal, para que funcione nettoplcsim.

3.4.2.2 CONEXIÓN OPC-CÉLULA VIRTUAL

Una vez se ha realizado la conexión para que el PLC envíe información a través del Nettoplcsim y ésta sea recibida por el OPC, ahora es necesario que el OPC se comunique con el DELMIA V5 para completar la comunicación y poder así gobernar la simulación del DELMIA V5 mediante la ingeniería de sistemas, es decir la parte real.

Como DELMIA por sí mismo es un programa que solo atiende a la lógica interna elaborada en el mismo programa, es necesario establecer una fuente externa que rijan el comportamiento del mismo.

Para llevar a cabo la conexión entre DELMIA Y KepServerEX, es necesario utilizar el módulo de DELMIA ``CSM Device Control Conection`` donde se puede generar un entorno de ejecución y poder así establecer la fuente externa de donde reciba y emita información DELMIA.

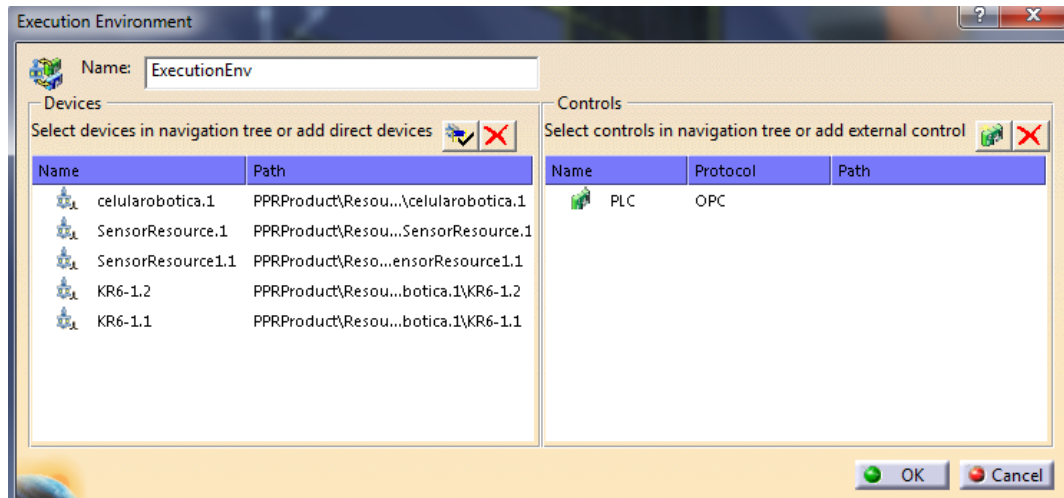


Figura 46. Execution Enviroment.

Dentro del apartado de device se debe introducir todas aquellas lógicas internas que componen la célula robótica, a saber, la lógica interna del mecanismo de la célula, los dos sensores y los dos robots. Por otra parte, se agrega como controlador un PLC con protocolo OPC.

A continuación, se generan las variables necesarias para establecer el funcionamiento de la simulación en DELMIA que deben ser vinculadas con las variables del KEPServerEx (OPC) y en consecuencia con las del PLC. Por ello, se hace click en el botón de browse y se selecciona el KEPServerEx v4 y se conecta mediante el botón connect.

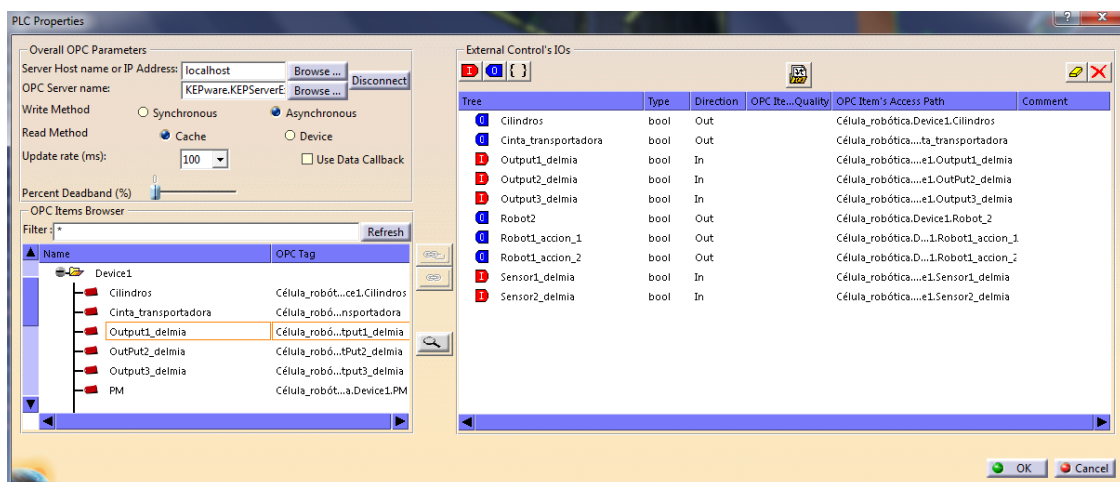


Figura 47. PLC Properties

Se introducen dos tipos de variables, de tipo Input y de tipo Output. Las de tipo Input son aquellas que van a recibir información por parte de los sensores cuando tengan valor verdadero en el momento en el que tengan contacto con la pieza y las señales que emiten los robots cuando han acabado su tarea. Por otro lado, se introducirán variables tipo OutPut como los cilindros, la cinta transportadora o las 3 acciones de los robots, que salen del PLC y entran en las distintas lógicas internas establecidas.

Por último, establece la conexión entre las variables recibidas en el OPC y las variables creadas en el entorno DELMIA mediante la herramienta ``Open Connection Editor``.

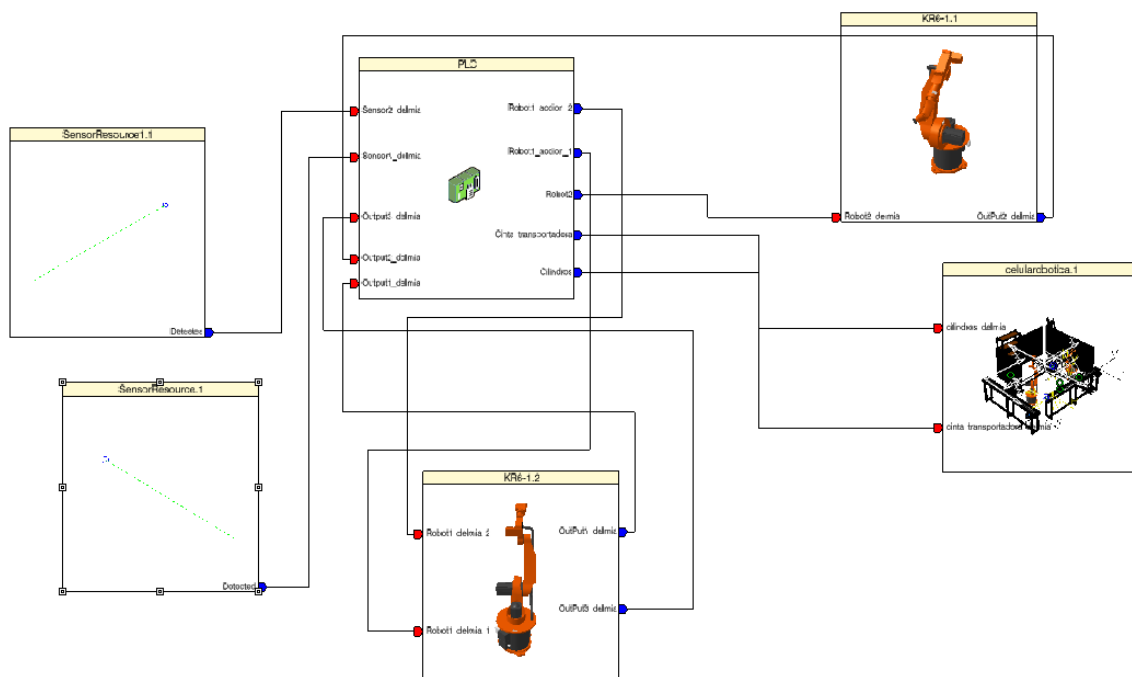


Figura 48. Connectio Editor

Como se puede observar en la figura, el PLC recibirá señal por parte de los sensores y de los robots, posteriormente dentro del programa del PLC gobernado por TIA Portal se llevará a cabo el procedimiento correspondiente y enviará señales tipo Output a los dos robots y a la célula robótica para que lleve a cabo la simulación.

CAPÍTULO 4.

ANÁLISIS Y RESULTADOS

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Tras elaborar la metodología, se comienza analizar los resultados obtenidos. Estos resultados se van a dividir en 3 grandes bloques, al igual que el procedimiento llevado a cabo, fase CATIA, fase DELMIA y fase Simulación.

4.1 ENTORNO 3D

Después de la metodología explicada y en conjunto de los elementos tanto comerciales como no comerciales se ha desarrollado un entorno virtual que representa una célula robótica real.

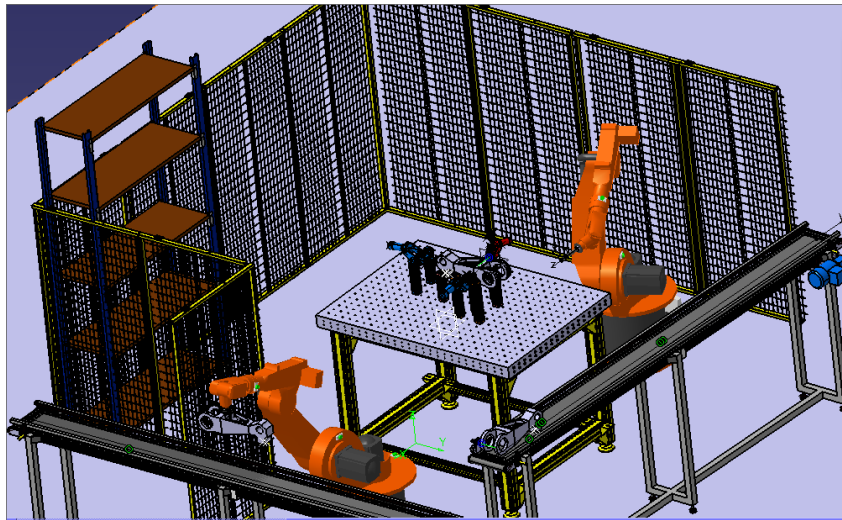


Figura 49. Célula robótica.

Para la elaboración de esta célula ha sido necesario establecer una serie de restricciones sobre los elementos comerciales y no comerciales. Se ha considerado el suelo como elemento fijo y a partir de ahí se han asignado diferentes restricciones para constituir la célula tal y como se ve en la imagen superior.

Para la construcción de la célula se han utilizado distintas restricciones para el correcto montaje del mismo. Las restricciones utilizadas son:

TIPO DE RESTRICCIÓN	CARACTERÍSTICAS
Cocidence Constrain	Establece una restricción de contacto opuesto o similar.
Contact Constrain	Asigna una restricción de contacto entre dos caras.
Offset Constrain	Indica una distancia entre dos elementos.
Fix Constrain	Fija el elemento que debe permanecer inalterado.

Tabla 3. Restricciones

En total resultan 148 restricciones establecidas a mano entre diferentes elementos del sistema. Estas restricciones se esconderán al finalizar el montaje para que el lector obtenga una mejor experiencia visual.

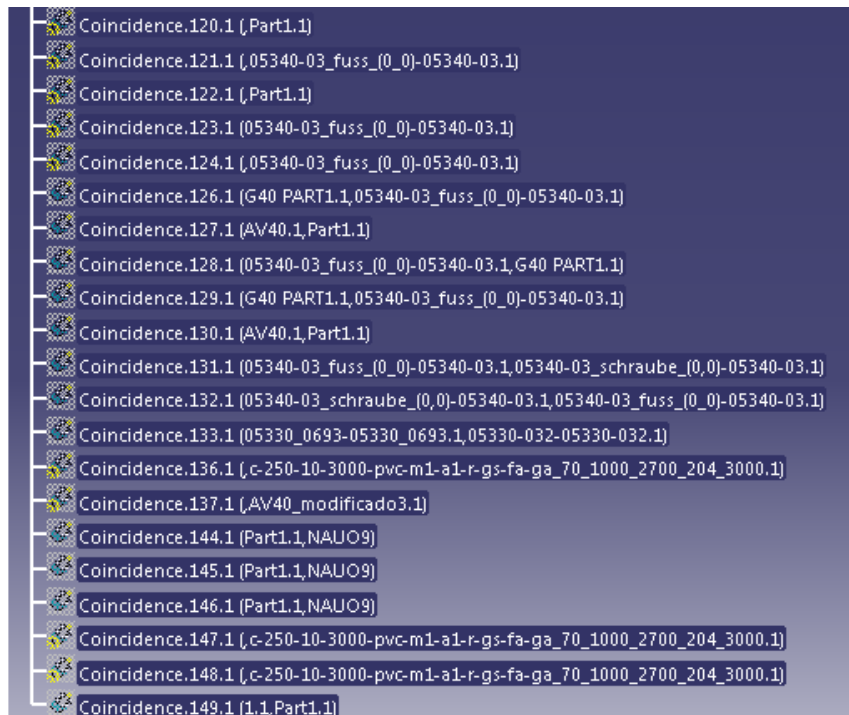


Figura 50. Restricciones.

Después de realizar el montaje de la célula pueden sacarse las siguientes conclusiones:

- Es fundamental establecer un elemento fijo al principio del montaje, ya que si no se realiza el resto de restricciones puede variar cuando se aplican las demás.
- Es importante no asignar restricciones coincidentes ya que si no, el programa CATIA enviará un mensaje de que el entorno está sobre restringido.
- Se debe concretar la parte de montaje al principio del todo ya que después a la hora de realizar los mecanismos es más difícil de que se lleven a cabo.
- Una vez se realiza una restricción es necesario actualizar el montaje para que las modificaciones sean visibles

4.2 DOTACIÓN DE MOVIMIENTO.

Después de elaborar el montaje de la célula, se procede a dotar de movimiento a los elementos que lo necesiten. Como ya se explicó en la metodología, el movimiento se consigue mediante la asignación de grados de libertad.

Entre los movimientos utilizados se pueden encontrar los siguientes grados de libertad:

PAR CINEMÁTICO	GRADOS DE LIBERTAD	CARACTERÍSTICAS
Cylindrical	2	Permite el movimiento en la dirección de la longitud y el ángulo alrededor del eje.
Point Curve	1	Permite el movimiento en la dirección de longitud.

Tabla 4. Descripción Pares cinemáticos

Como ya se comentó en la metodología se ha implementado 3 mecanismos. Uno perteneciente al producto general de la célula, compuesto por las cintas transportadoras y los cilindros de apriete y 2 mecanismos correspondientes a los 2 robots.

Con respecto al mecanismo de la célula general se han establecido finalmente 5 pares cinemáticos con una totalidad de 8 grados de libertad.

PAR CINEMÁTICO	GRADOS DE LIBERTAD	ELEMENTO 3D
Cylindrical	2	Los 3 cilindros de apriete poseen cada uno un par cilíndrico.
Point Curve	1	Las 2 cintas transportadoras pose un par Point Curve.

Tabla 5. Pares Cinemáticos

Este hecho se puede comprobar utilizando la herramienta de DELMIA V5 Mechanism Analysis donde se muestra el número de grados de libertad y si el mecanismo puede ser simulado entre otras cosas.



Figura 51. Pares cinemáticos mecanismo Célula robótica.

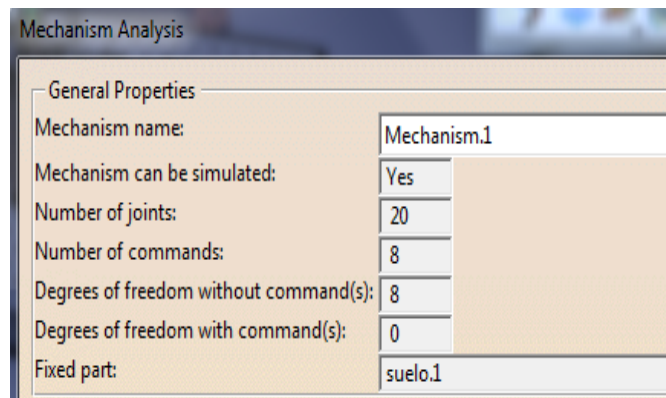


Figura 52. Grados de Libertad Mecanismo célula robótica.

Por otra parte, falta por analizar los grados de libertad de los robots correspondientes. Como ya se comentó anteriormente, el mecanismo de los robots viene intrínsecamente en el product obtenido del catálogo proporcionado por DELMIA V5. Por lo tanto los grados de libertad de dichos robots serán iguales y con una cantidad total de 6 grados de libertad para poder alcanzar cualquier posición del espacio.

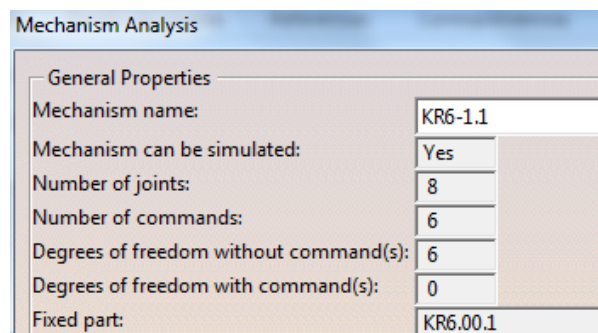


Figura 53. Grados de libertad robots.

Al final de todo el procedimiento de dotación de movimiento cabe analizar ciertas cuestiones:

- Los mecanismos que se realizan antes de utilizar el módulo de Process son los definitivos. Hay que tener claro entonces que los mecanismos a utilizar son los definitivos pues no se podrá ampliar más ese número al interactuar en el módulo de Process.
- La realización de los mecanismos debe seguirse paso a paso y sin equivocación porque si DELMIA V5 da el mensaje de que el mecanismo no se puede simular, no se puede eliminar el mecanismo y habría que empezar de nuevo.
- Es necesario la utilización de la herramienta Fix al inicio de la creación del mecanismo ya que de lo contrario no se puede realizar el mismo.

4.3 LÓGICA INTERNA.

Cuando se ha realizado la dotación de movimientos, el siguiente paso es crear la lógica interna de cada mecanismo. Como se han desarrollado 3 mecanismos, en consecuencia se tienen que realizar 3 lógicas internas.

La posición de estas 3 lógicas internas no es trivial, es necesario que la estructura del árbol de DELMIA esté gobernado por un product general, llamado célula robótica, donde se encuentren los 2 product del robot y la lógica interna del mecanismo general. Esta estructura debe estar formada así para que posteriormente se pueda realizar el entorno en DELMIA que esté conectado al PLC virtual.

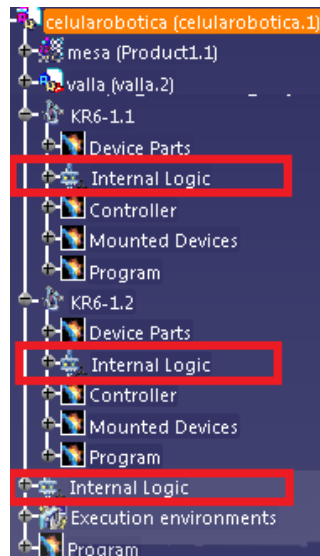


Figura 54. Lógica interna.

De los resultados obtenidos se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- Debe utilizarse una lógica interna general dentro de un product que engloba todo donde se encuentren los mecanismos no manipulados por robots.
- La lógica interna de los robots debe permanecer dentro del product general para que el entorno de delmia reconozca dichas lógicas.
- La lógica interna de los sensores también deben pertenecer al product general para que sea reconocido al igual que los robots.

4.4 SIMULACIÓN

El primer paso para poner en marcha la célula robótica consiste en ejecutar el programa TIA Portal y abrir el archivo elaborado. Posteriormente, se abre el programa PLCsim, que consiste en un plc virtual que representa el PLC real que se utilizaría en la célula real, y se carga el programa Ladder en el mismo.

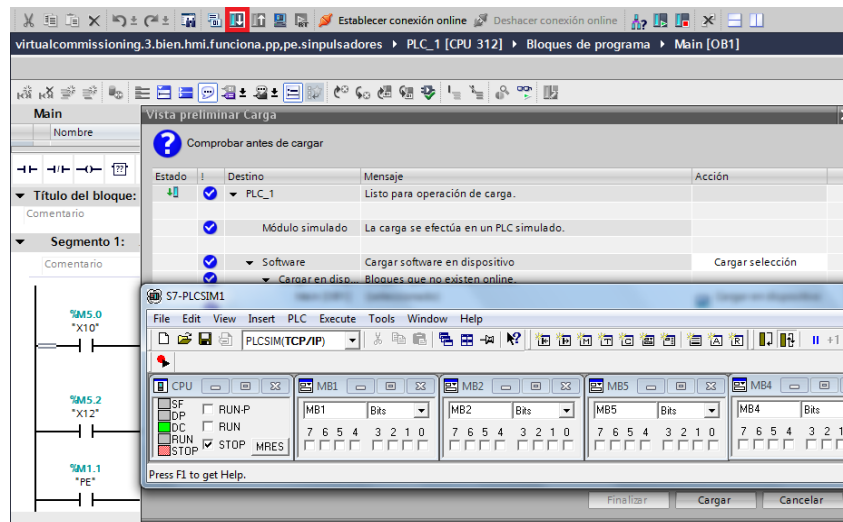


Figura 55. Carga PLCsim

Una vez cargado, deberá cargarse también el HMI que se ha desarrollado para poder manipular las variables del Ladder mediante los pulsadores asociados anteriormente en el HMI. Se puede observar que las variables del plcsim se activan cuando se accionan los pulsadores asignados en la imagen raíz del HMI. Mediante un cuadrado verde se resalta como se activa la variable M1.0 cuando se manipula el pulsador de puesta en marcha y mediante un cuadrado azul se demuestra el correcto funcionamiento de la salida por pantalla del C1 que hace referencia al número de piezas por fabricar.

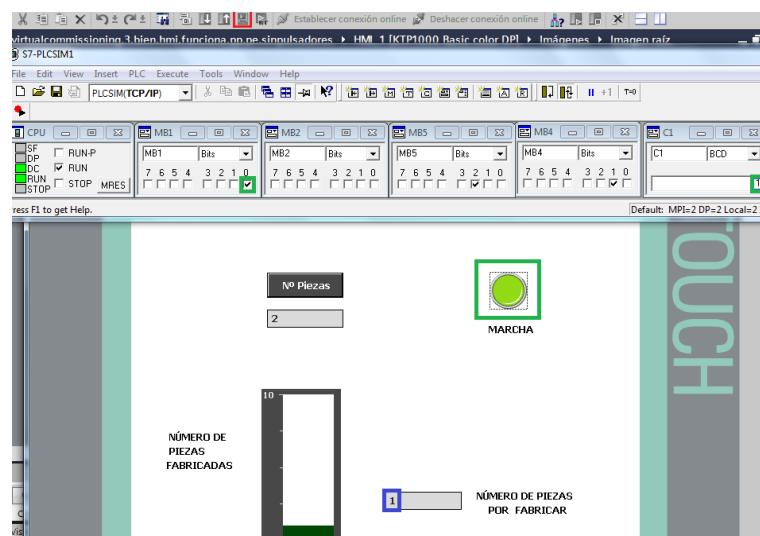


Figura 56. Análisis HMI

En relación a la carga y conexión del programa Ladder y el PLCsim caben destacar ciertos aspectos:

- La carga se realiza de forma rápida y eficaz.
- La respuesta de los pulsadores respecto al PLCsim resulta precisa y certera.
- La conexión debe ser TCP/IP para que la posterior conexión con el programa DELMIA V5 resulte satisfactoria.

A continuación, se debe seguir los pasos indicados anteriormente para establecer la conexión correcta entre el PLC sim y DELMIA V5. Como se comentó es necesario realizar dichos pasos en el orden establecido ya que en caso contrario la conexión resulta incorrecta, es decir, carga del programa al PLCsim, se ejecuta el KEPServerEx v4. y se inicia el Nettoplcsim.

Es entonces cuando se hace click en el icono OPC Quick client dentro del programa KepServerEX, y observar que las variables no se encuentran es estado Unknown y reciben señal. Si es así, entonces se puede decir que la conexión se ha realizado correctamente y se está en disposición de establecer la conexión con DELMIA V5.

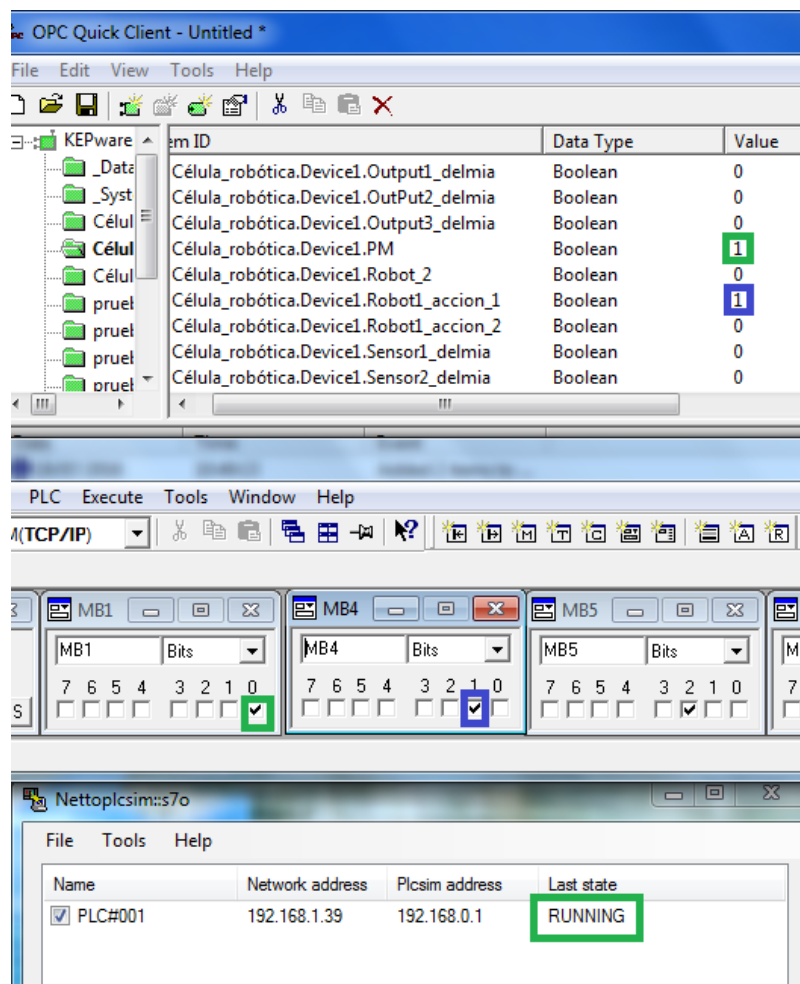


Figura 57. Comprobación conexión OPC

De acuerdo a los resultados mostrados, se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- La conexión entre el OPC y el HMI y en consecuencia con el PLCsim resulta instantáneo.
- El programa Nettoplcsim debe ser ejecutado como administrador ya que en caso contrario la conexión no se realiza.
- Se debe parar el puerto 102 durante la utilización del Nettoplcsim para que haya comunicación entre los programas.
- Debe usarse una conexión inalámbrica en el ordenador donde se lleve a cabo la simulación.
- La dirección IP del programa KEPServerEx debe ser la misma que la de la red inalámbrica conectada.

Una vez se ha conectado el OPC con el PLCsim, se está en disposición de establecer la conexión entre el OPC y el programa de diseño gráfico DELMIA V5. Para ello, se utiliza el módulo de DELMIA ``CSM Device Control Conection`` donde se encuentra la herramienta simulation. Cuano se inicia la simulación gobernada por el HMI, las distintas variables definidas cambian de valor.

Entre las variables que se pueden encontrar, se resaltan la de los sensores seleccionados. Cuando se inicia la simulación y la pieza avanza sobre la cinta, el sensor 1 y 2 permanecen en estado falso. Una vez llega la pieza al sensor 1, éste cambia su valor a verdadero y la cinta se para, como se puede ver en la figura inferior. Posteriormente, cuando la pieza es depositada en el utillaje y los cilindros de apriete se cierran, el sensor 2 (SensorResource 1.1) cambia su valor a verdadero y el programa Ladder continúa su proceso con el mecanizado de la pieza.

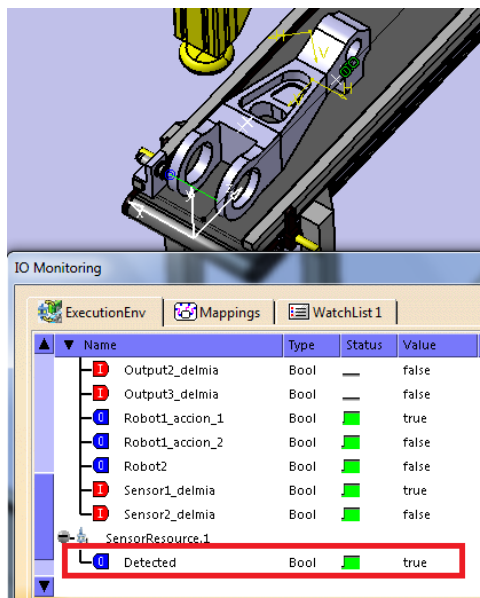


Figura 58. Sensor 1.

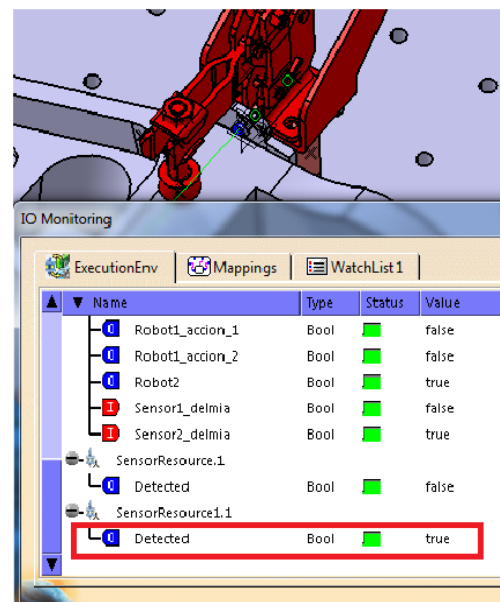
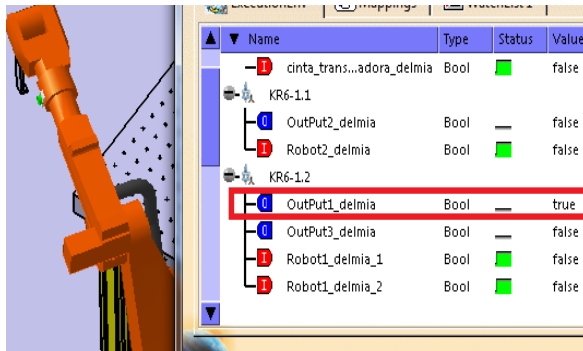


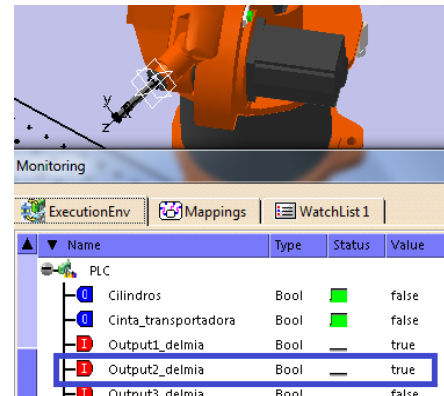
Figura 59. Sensor 2.

Otras de las distintas variables características son las salidas de los robots que indican que han terminado su trabajo. Durante el tiempo que los robots están trabajando la variable OutPut_delmia correspondiente se encuentra con valor 0. En el momento que termina su tarea cambia a un estado verdadero y en consecuencia el programa Ladder sabe que el robot ha terminado su tarea. En las figuras inferiores se puede apreciar como devuelve la variable propia del robot en el primer caso, y como la recibe el plc en el segundo.



Name	Type	Status	Value
cinta_trans...adora_delmia	Bool	■	false
KR6-1.1			
OutPut2_delmia	Bool	■	false
Robot2_delmia	Bool	■	false
KR6-1.2			
OutPut1_delmia	Bool	■	true
OutPut3_delmia	Bool	■	false
Robot1_delmia_1	Bool	■	false
Robot1_delmia_2	Bool	■	false

Figura 60. Salida Robot 1.



Name	Type	Status	Value
PLC			
Cilindros	Bool	■	false
Cinta_transportadora	Bool	■	false
Output1_delmia	Bool	■	true
Output2_delmia	Bool	■	true
Output3_delmia	Bool	■	false

Figura 61. Salida Robot 2.

Durante el procedimiento de la simulación se han determinado las siguientes observaciones:

- El rendimiento del procesador informático que se posea en el ordenador utilizado influye en la velocidad de simulación mostrada. Por lo tanto, a veces, es necesario aumentar la velocidad para obtener una velocidad parecida a la real.
- La simulación y el estado del PLC deben permanecer siempre en el estado inicial para que no se produzcan comportamientos indeseados al iniciar el proceso.
- En ocasiones, una velocidad de simulación excesiva conduce a una rápida simulación del proceso que puede provocar que las variables corran a lo largo del programa Ladder produciendo situaciones no deseadas. Por este motivo se introdujo en el programa del PLC temporizadores que retrasasen el inicio del proceso al realizar más de una pieza.
- Durante la elaboración de la simulación se observó la necesidad de establecer las variables Output de los robot como falsas al terminar el procesado de una pieza para establecer el estado en el que se encuentra como el inicial.

4.5 CAPTURAS DE PANTALLA

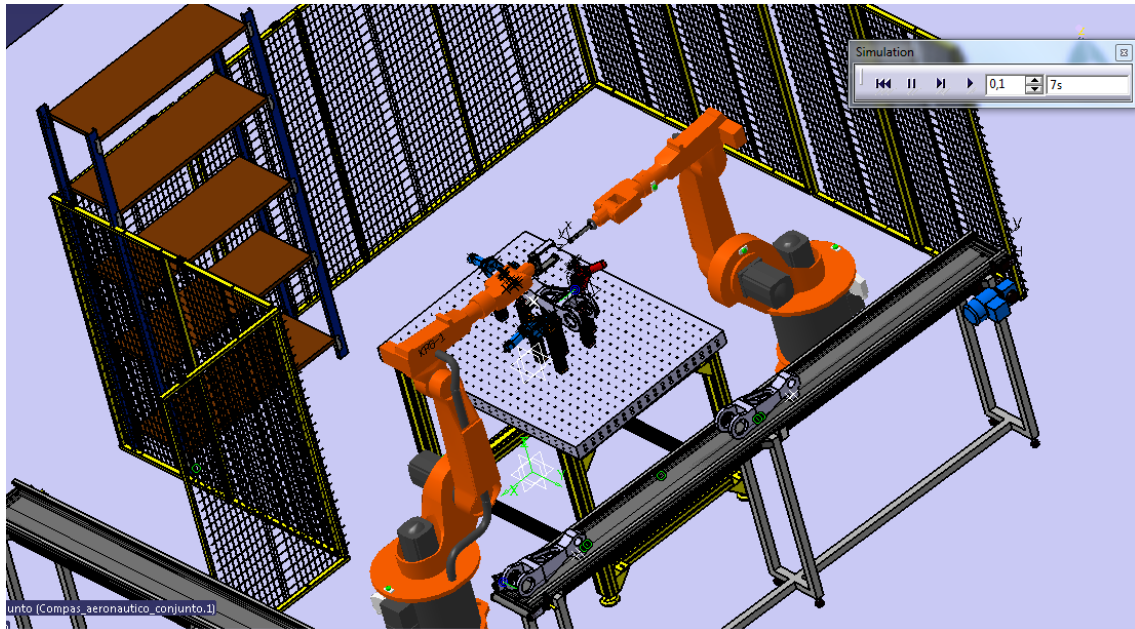


Figura 62. Cinta transportadora.

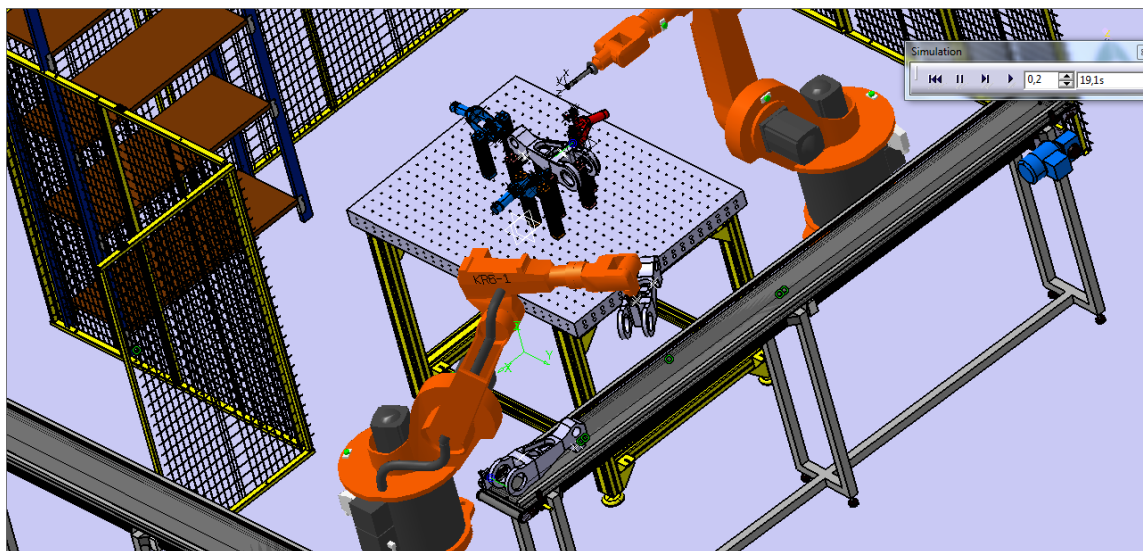


Figura 63. Transporte pieza.

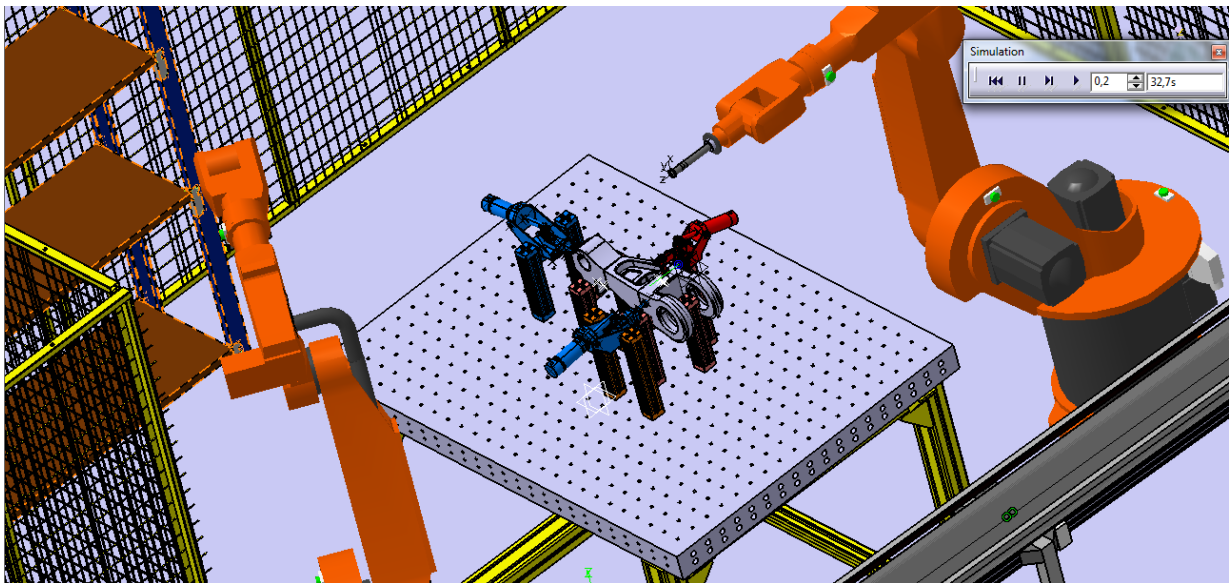


Figura 64. Apriete cilindros.

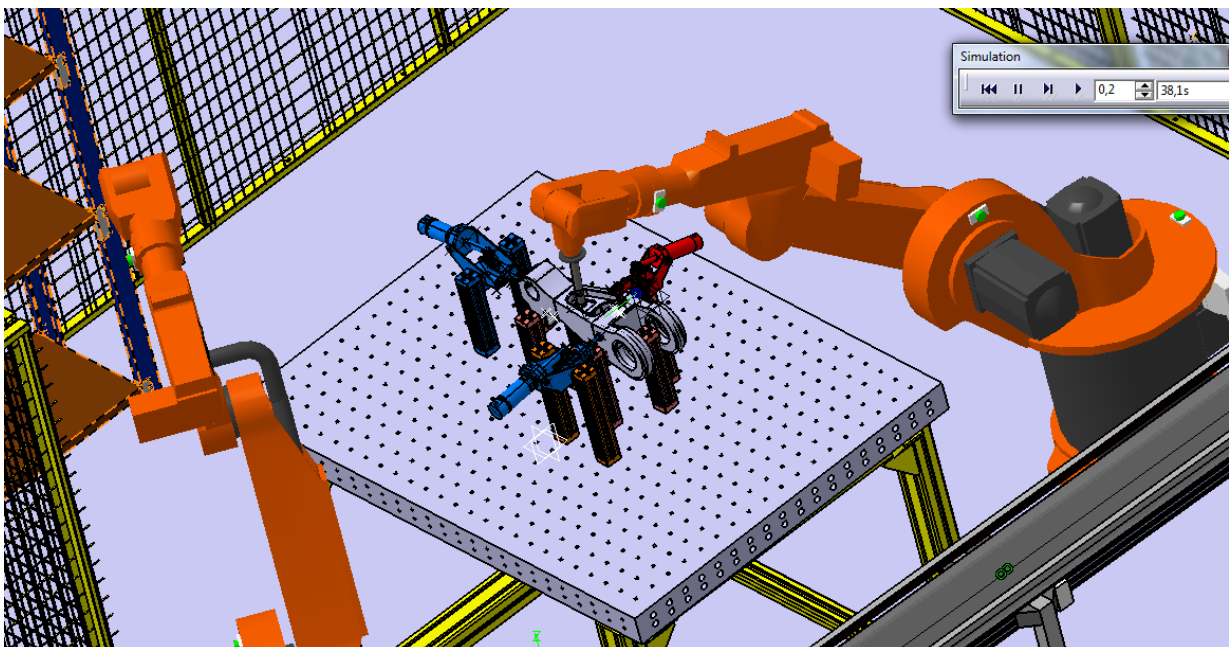


Figura 65. Mecanizado Pieza.

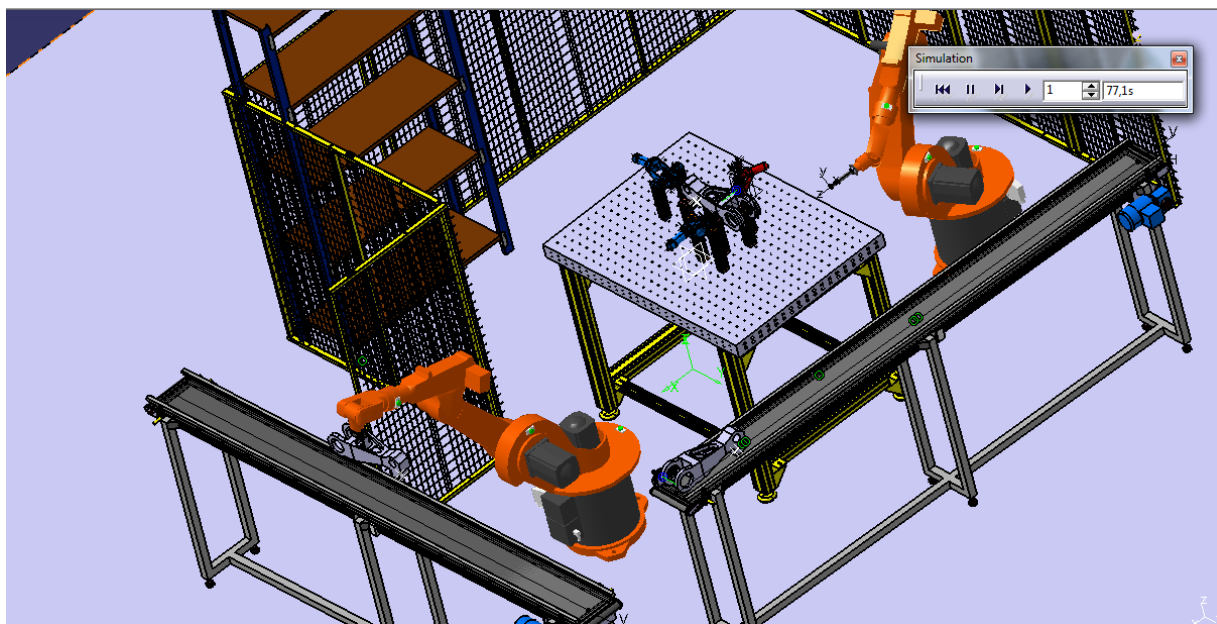


Figura 66. Depositar Pieza.

CAPÍTULO 5.

CONCLUSIONES

5. CONCLUSIONES

Después de la elaboración, análisis, modificación y conformación final del proyecto se han esclarecido una serie de conclusiones con respecto al mismo.

Tras los objetivos marcados al inicio del proyecto, es necesario hacer la siguiente reflexión del cumplimiento o no de los mismos.

- Ante la meta marcada de un proyecto con el mayor número de elementos comerciales utilizados, cabe destacar que únicamente 3 de los componentes seleccionados son elementos no comerciales debido a la imposibilidad de encontrar dichos elementos con características tan específicas en el mercado. La gran cantidad restante de los objetos utilizados han sido descargados de las distintas páginas web de las compañías elegidas, consiguiendo así la meta establecida de obtener un proyecto viable y factible. La ventaja sustancial de emplear elementos comerciales, está en que resulta ser la forma habitual de integración del diseño de sistemas productivos en el entorno industrial, otorgando al demostrador gran realismo y a los resultados obtenidos la posibilidad de transferencia directa al entorno industrial.
- Se considera el cumplimiento del objetivo establecido de comunicar la ingeniería de sistemas (PLC) y el diseño de detalle de la planta (entorno 3D), consiguiendo dar un paso más de la simulación y desarrollar una emulación rápida, fiable y eficaz. Permite el desarrollo simultáneo de la ingeniería de detalle de la parte mecánica, y la ingeniería de sistemas del control de la planta, acortando de esta manera el tiempo de respuesta en marcha y permitiendo detectar errores en las fases preliminares de diseño.
- Después del desarrollo del proyecto, se puede comprobar que se ha ahondado en la investigación ya existente de la utilización del Virtual Commissioning mediante la introducción de robots que no habían sido utilizados hasta ahora, la integración de tecnologías de la industria 4.0, por un lado PLM (Digital Manufacturing), y por otro la integración de la automatización supone un avance en la implantación del nuevo paradigma de la 4ª Revolución Industrial.
- Se reafirma la familiarización propuesta de los diferentes programas informáticos utilizados, investigando aún más concretamente en el programa DELMIA V5 mediante la utilización de robots no utilizados hasta ahora.
- Finalmente, se ha conseguido desarrollar un demostrador donde se pone en práctica la emulación propuesta, utilizando todos los recursos e interactuando con el HMI elegido.

Como se ha comentado anteriormente, durante el desarrollo del proyecto se han utilizado distintas herramientas informáticas que han tenido diferentes experiencias de uso. Entre las distintas ventajas que se han observado se pueden encontrar:

- La pertenencia de los programas de CATIA y DELMIA de la misma compañía posibilita que la relación y comunicación entre ambos programas sea buena.
- La conexión entre el mundo real (TIA Portal) y el mundo virtual (DELMIA) resulta rápida y eficaz.
- La representación gráfica del programa TIA Portal permite una solución mediante el lenguaje KOP (programa Ladder) de forma sencilla y rápida.
- Los tiempos de carga del PLC simulado son instantáneos y su conexión con el HMI y el mundo virtual (DELMIA) proporcionan una experiencia muy semejante a la que se puede obtener en la vida real.
- La posibilidad de obtener una emulación de forma sencilla y eficaz por parte de empresas, hace que sea un punto muy valioso dentro de la diferenciación que puedan obtener dentro de la incipiente industria 4.0.

Además de las múltiples ventajas comentadas anteriormente, cabe destacar una serie de inconvenientes encontrados durante el desarrollo del proyecto:

- La necesidad de grandes recursos informáticos necesarios para la realización de un gran proyecto, perjudica la fluidez de la realización del mismo. Esto puede extrapolarse al mundo empresarial, donde empresas de pequeño tamaño pueden encontrar problemas a la hora de conseguir dichos recursos para poder desarrollar un proyecto de gran envergadura.
- La conexión indirecta entre el PLC y DELMIA puede causar ciertos impedimentos a la hora de realizar proyectos industriales empresariales debido a la necesidad de utilizar una gran cantidad de programas que obliguen a formar empleados para su correcta utilización.
- Ante las dificultades obtenidas en relación a la elaboración de la simulación y la posible modificación posterior de los mecanismos hace que este tipo de programas, que cumplen su función perfectamente si se realiza con cuidado, resulten algo complejos debido a la antigüedad de los mismos. Recientemente, la empresa distribuidora de estos programas ha actualizado su versión con un programa más integrador y con una mayor disposición en el entorno de la industria 4.0 que solucionan dichos problemas encontrados.
- El orden de utilización de los distintos programas informáticos resulta imprescindible a la hora de obtener un correcto funcionamiento. Este hecho define un trabajo secuencial que podría para la elaboración de un proyecto a escala empresarial en caso de fallo de uno de estos programas.

- La velocidad de simulación en el entorno virtual es un factor a tener en cuenta, ya que puede provocar saltos de variables asignadas al PLC simulado y provocar un comportamiento incorrecto del proceso.

CAPÍTULO 6.

LÍNEAS FUTURAS

6. LÍNEAS FUTURAS

El proyecto que se presenta, tiene una dirección marcada en el estudio, investigación y desarrollo de las distintas características de la incipiente Industria 4.0. Según expertos industriales, actualmente, se está comenzando la cuarta revolución industrial que marcará el modelo productivo industrial en los próximos años.

Gran parte del presente proyecto está orientado al Virtual Commissioning parte fundamental de la emulación y en consecuencia de la Industria 4.0. Durante el desarrollo del mismo, se ha pretendido continuar con la investigación ya establecida y ahondar aún más mediante la introducción de robots al proceso.

Por otra parte, se ha intentado tocar aspectos característicos del Internet de las cosas más superficialmente con la intención de que en un futuro el proyecto pueda continuar en más en esta línea y completar más aún el estudio en la Industria 4.0.

Por último, debido a la escasez de recursos tanto de licencias de nuevos programas informáticos más orientados a la Industria 4.0 como de potencial informático, no ha sido posible la introducción en la tercera pata de esta nueva industria, la nube. La posibilidad de obtener dichos recursos en una futura continuación del proyecto enriquecería el mismo al conseguir abarcar las distintas características de dicha industria.

En un mundo donde la competencia de empresas es feroz y donde la diferenciación entre ellas puede ser esencial, la aplicación de las características empleadas en este proyecto dentro de la Industria 4.0 puede permitir un gran desarrollo en empresas venideras.

Actualmente, los distintos países de todo el mundo están aplicando ayudas para favorecer esta nueva industria debido a los beneficios económicos que aporta para cada país. Grandes potencias mundiales, como puede ser EEUU, están acercando sus industrias a sus respectivos países mediante la implantación de la Industria 4.0. No solo consiguen un aumento de la producción, o un incremento de puestos de trabajo, sino que consiguen revertir toda esa riqueza tecnológica y beneficio económico al resto de su tejido productivo.

Concretamente, la Unión Europea presenta actualmente programas de investigación en relación al tema tratado en el proyecto y ayudas a los diferentes integrantes de la unión para el desarrollo de este tipo de industria.

Por lo tanto, en la realización del proyecto se ha querido desarrollar una investigación sobre un tema que está presente en la industria actual y de gran importancia en un futuro a medio plazo. La consecuencia del mismo no solo ayuda crecer un poco más en este entorno sino de aportar un comienzo en esta nueva etapa beneficiosa tanto para la industria como para la sociedad en la que vivimos.

CAPÍTULO 7.

BILIOGRAFÍA

7. BIBLIOGRAFÍA

[1] Dzinic, j. & Yao, C. (2013). Simulation-based verification of PLC programs. CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY.

[2] Barrientos A, & Gambao, E. Grafcet. Sistemas de producción automatizados.

[3] www.festo.es

[4] www.norelem.com

[5] www.halder.com

[6] www.tracepart.net

[7] [www. Boema.at](http://www.boema.at)

[8] www.sandvik.com

[9] www.smc.eu

[10] <http://www.kuka-robotics.com>

[11] www.boschrexoth.co

[12] www.rs-components.es

[13] www.plm.automation.siemens.com

[14] Heidari Ali, Salamon Oliver (2012). Virtual Commissioning of an Existing Manufacturing Cell at Volvo Car Corporation Using DELMIA V6

[15] www.3ds.com

[16] <http://www.3dcadportal.com>

[17] Presentación 3. Modelización de Sistemas de Fabricación. José Ríos (2016). Universidad Politécnica de Madrid.

[20] www.soloingenieria.net

[21] www.siemens.com

CAPÍTULO 8.

PLANIFICACIÓN TEMPORAL

8. PLANIFICACIÓN TEMPORAL

A continuación se muestra la planificación temporal establecida en la elaboración del proyecto.

El primer paso consiste en realizar la EDP del proyecto y posteriormente se desarrolla el diagrama de Gant correspondiente.

Id	Nombre de tarea
1	1 Proyecto
2	2 Reunión y adquisición del trabajo
3	3 Estudio e investigación
4	4 Entorno 3D
5	4.1 Curso de Catia
6	4.2 Información células robóticas
7	4.3 Selección de célula
8	4.4 Elementos comerciales
9	4.5 Elementos no comerciales
10	4.6 Elección de pieza
11	4.7 Montaje de la planta
12	4.8 Reunión con el tutor
13	5 Dotación de movimiento
14	5.1 Estudio. Tutoriales DELMIA
15	5.2 Mecanismos
16	5.3 Robots
17	5.4 Grabación de tareas
18	5.5 Lógicas internas
19	5.6 Estructura product
20	5.7 Reunión
21	6 Programación PLC
22	6.1 Estudio. Tutoriales TIA Portal
23	6.2 Programa Ladder
24	6.3 Depuración de errores y verificación
25	6.4 Correo con el tutor
26	7 Diseño HMI
27	7.1 Estudio. Tutorial HMI
28	7.2 Diseño
29	7.3 Modificaciones Ladder
30	7.4 Conexión
31	7.5 Correo con el tutor
32	8 Conexión entre programas
33	8.1 Instalación de programas
34	8.2 Comunicación
35	8.3 Conexión distintas lógicas
36	9 Redacción de la memoria
37	9.1 Información tecnológica
38	9.2 Desarrollo del proyecto
39	9.3 Entrega del proyecto

Figura 67. EDP

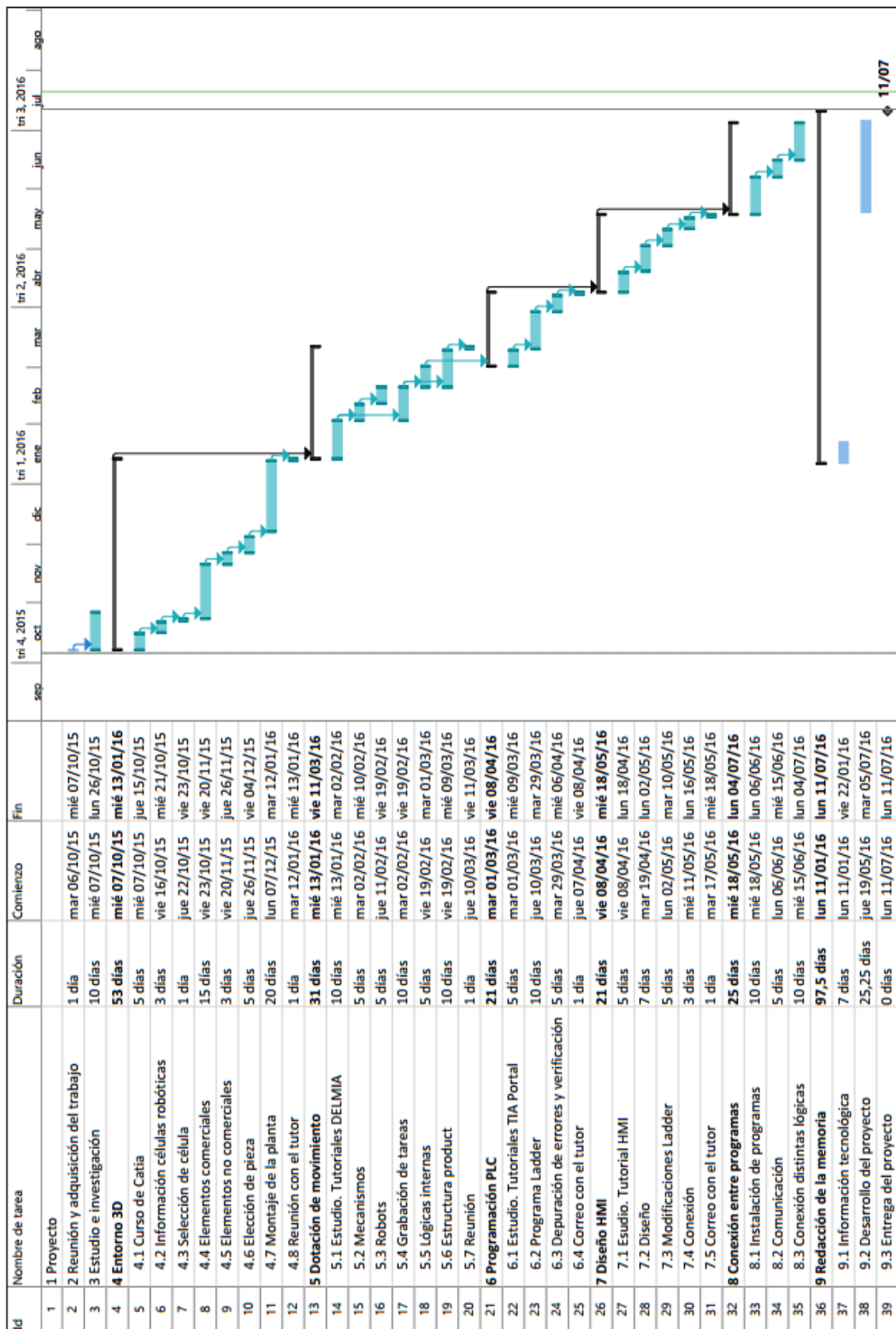


Figura 68. Diagrama de Gant.

CAPÍTULO 9.

PRESUPUESTO

9. PRESUPUESTO

El presupuesto elaborado consta de varias categorías: hardware, software, curso y salarios.

En la categoría de hardware se detalla los gastos del ordenador utilizado durante la elaboración del proyecto. En este caso será necesario la amortización del ordenador durante 3 años.

CONCEPTO	PERIODO AMORTIZACIÓN (meses)	PERIO DE UTILIZACIÓN (meses)	PRECIO (euros)	PRECIO TOTAL (euros)
Ordenador	36	10	900	250

En la categoría de software se desglosa el coste de las licencias de las distintas aplicaciones informáticas utilizadas.

CONCEPTO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (euros)	PRECIO TOTAL (euros)
CATIA V5R21	1	450	450
DELMIA V5R21	1	500	500
TIA PORTAL	1	750	750
OPC Server	1	900	900
TOTAL			2600

En relación a los cursos, se cuantifica el coste del curso de CATIA V5 realizado en la escuela.

CONCEPTO	CANTIDAD (horas)	PRECIO UNITARIO (euros/hora)	PRECIO TOTAL (euros)
CURSO CATIA V5	25	12,5	312.5

El coste del ingeniero de diseño corresponde al dinero que supondría pagar a un ingeniero junior trabajando las horas realizadas en este proyecto.

CONCEPTO	CANTIDAD (horas)	PRECIO UNITARIO (euros/hora)	PRECIO TOTAL (euros)
SALARIO	320	25	8000

PRESUPUESTO TOTAL

CONCEPTO	COSTE (euros)
HARDWARE	250
SOFTWARE	2600
CURSO	312.5
SALARIO	8000
TOTAL	11162.5

10. ÍNDICE DE LAS FIGURAS

Figura 1. Conexión	7
Figura 2. HMI	8
Figura 3. Demostrador.....	8
Figura 4. Industria 4.0	15
Figura 5. Virtual Commissioning	16
Figura 6. Conexión introducción	17
Figura 7. Columna de utillaje	27
Figura 8. Regla 3-2-1	28
Figura 9. Utillaje	28
Figura 10. Dassault Systems.....	29
Figura 11. Rigid Joint	30
Figura 12. Planar Joint	30
Figura 13. Rigid Joint	30
Figura 14. Point Curve Joint	31
Figura 15. Cilindrical Joint.	31
Figura 16. Árbol del mecanismo	32
Figura 17. Jog Mechanism	32
Figura 18.Árbol P.P.R	33
Figura 19. Robot Managment.....	33
Figura 20. Teach	33
Figura 21. Planar Joint	34
Figura 22. Set Tool.....	34
Figura 23. Trayectorias Robot2.	34
Figura 24. TIA Portal	35
Figura 25. TIA Portal.	36
Figura 26. Controlador.....	37
Figura 27. Tabla de variables.	38
Figura 28. Ejemplo Set-Reset.....	39
Figura 29. Estructura sensores.....	39
Figura 30. Temporizador.	40
Figura 31. Contador	40
Figura 32. Elección HMI	40
Figura 33. Imagen raíz	41
Figura 34. Variables HMI.....	41
Figura 35. Asociación de botones.	42
Figura 36. Lógica interna mecanismo.....	43
Figura 37. Lógica interna Robot 2.	44
Figura 38. Lógica interna Robot 1.	44
Figura 39. KEPServerEx	45
Figura 40. Channel.....	45
Figura 41. Siemens TCP/IP Ethernet.....	46
Figura 42. Variables OPC.....	46
Figura 43. Propiedades del dispositivo.	47
Figura 44. Estación	47
Figura 45. Conexión Nettoplcsim.....	47

Figura 46. Execution Enviroment.....	48
Figura 47. PLC Properties	48
Figura 48. Connectio Editor.....	49
Figura 49. Célula robótica.	52
Figura 50. Restricciones.....	53
Figura 51. Pares cinemáticos mecanismo Célula robótica.....	55
Figura 52. Grados de Libertad Mecanismo célula robótica.	55
Figura 53. Grados de libertad robots.	55
Figura 54. Lógica interna.....	56
Figura 55. Carga PLCsim	57
Figura 56. Análisis HMI	57
Figura 57. Comprobación conexión OPC	58
Figura 58. Sensor 1.....	59
Figura 59. Sensor 2.....	59
Figura 60. Salida Robot 1.....	60
Figura 61. Salida Robot 2.....	60
Figura 62. Cinta transportadora.....	61
Figura 63. Transporte pieza.....	61
Figura 64. Apriete cilindros.....	62
Figura 65. Mecanizado Pieza.....	62
Figura 66. Depositar Pieza.....	63
Figura 67. EDP.....	79
Figura 68. Diagrama de Gant.....	80

11. ÍNDICE DE LAS TABLAS

Tabla 1. Elementos comerciales.....	26
Tabla 2. Elementos no comerciales.....	27
Tabla 3. Restricciones.....	52
Tabla 4. Descripción Pares cinemáticos.....	54
Tabla 5. Pares Cinemáticos	54
Tabla 6. Abreviaturas/Acrónimos.....	91

12. ABREVIATURAS/ACRÓNIMOS

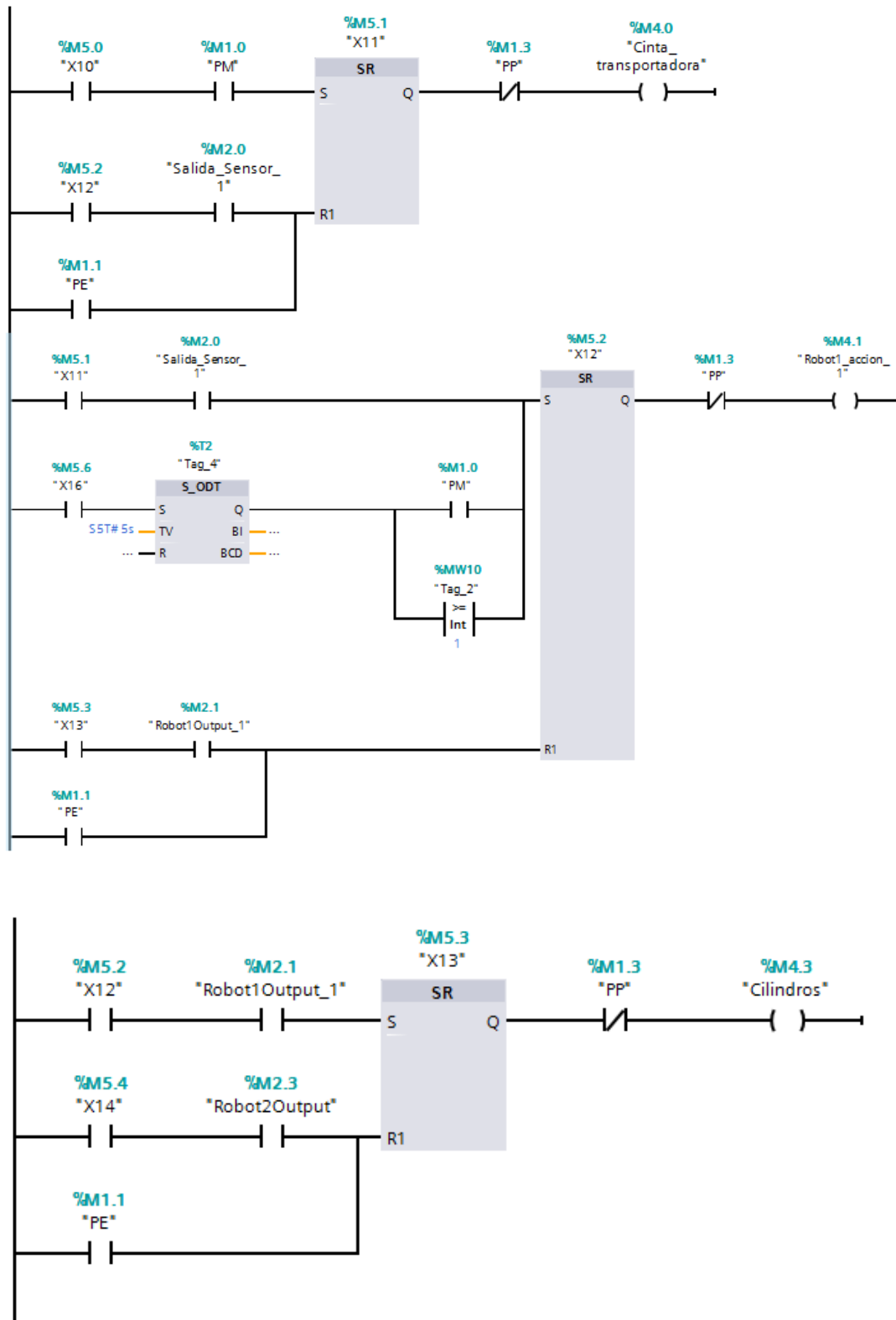
ABREVIATURA / ACRÓNIMO	SIGNIFICADO
GRAFCET	Grafo de Control Etapa Transición
VC	Virtual Commissioning
TIA	Totally Integrated Automation
OPC	OLE for Process Control
TCP	Transmission Control Protocol
PLC	Programmable Logic Controller
MPI	Multi Point Interface
IP	Internet Protocol
HMI	Humane Machine Interface
HIL	Hardware in the Loop
RIL	Reality in the Loop

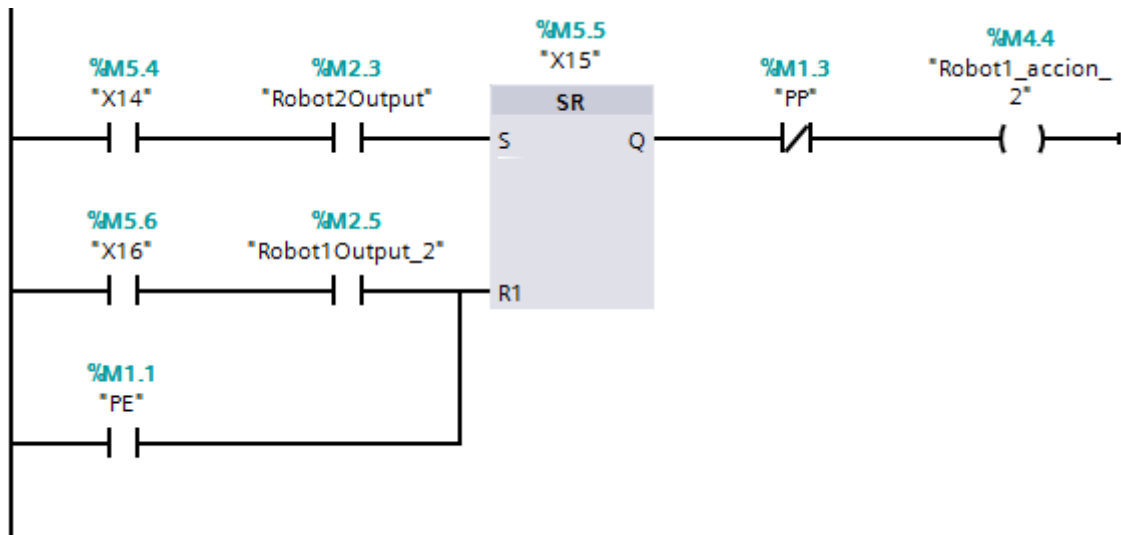
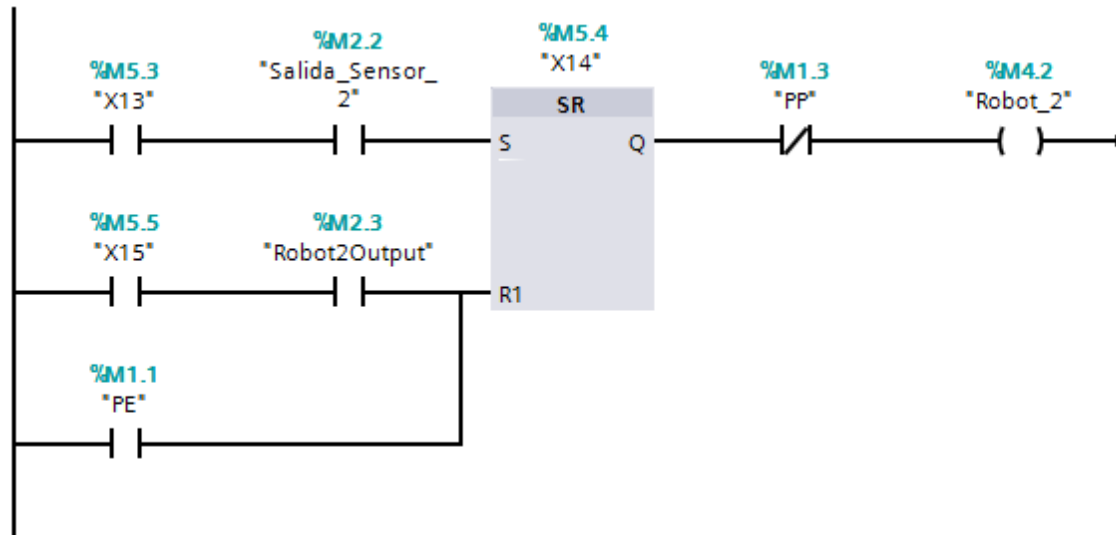
Tabla 6. Abreviaturas/Acrónimos

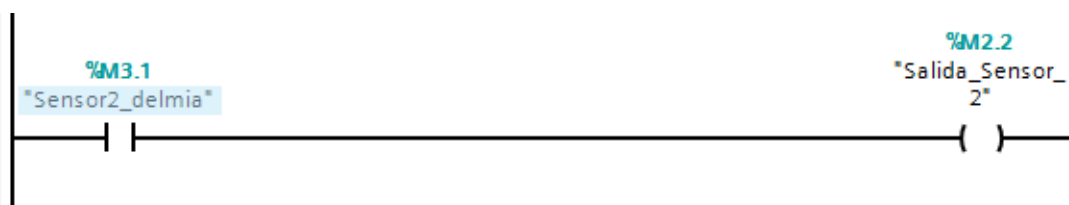
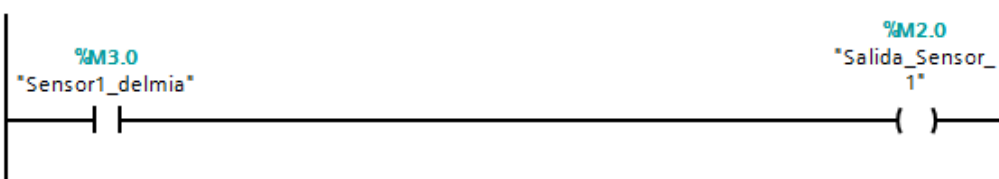
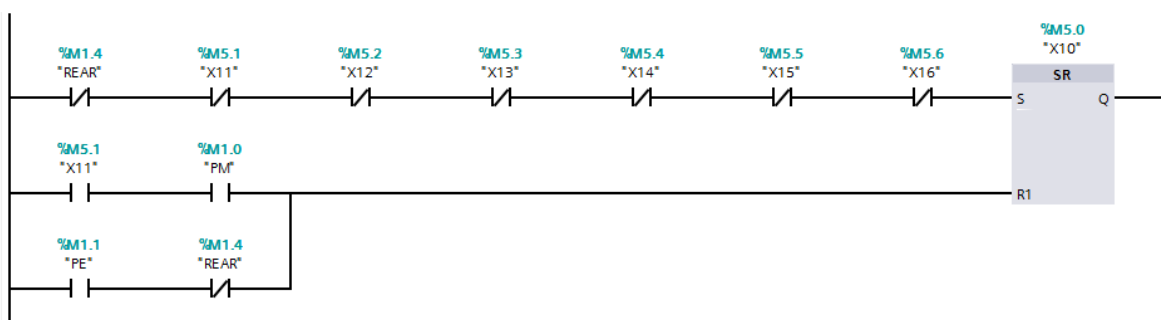
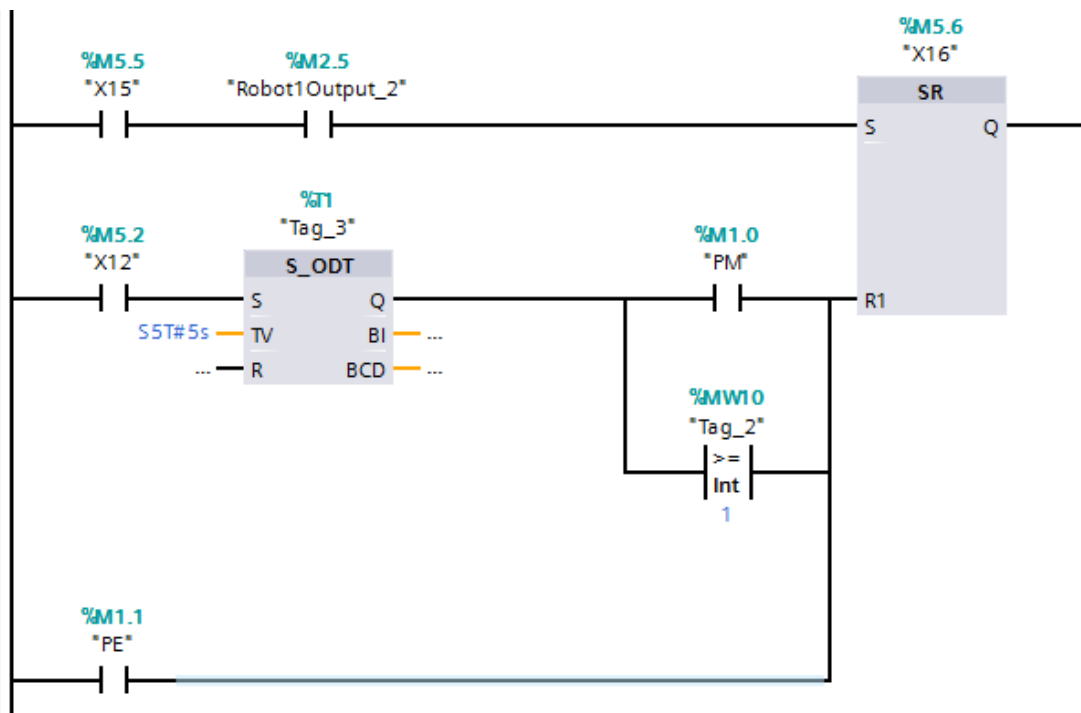
CAPÍTULO 13.

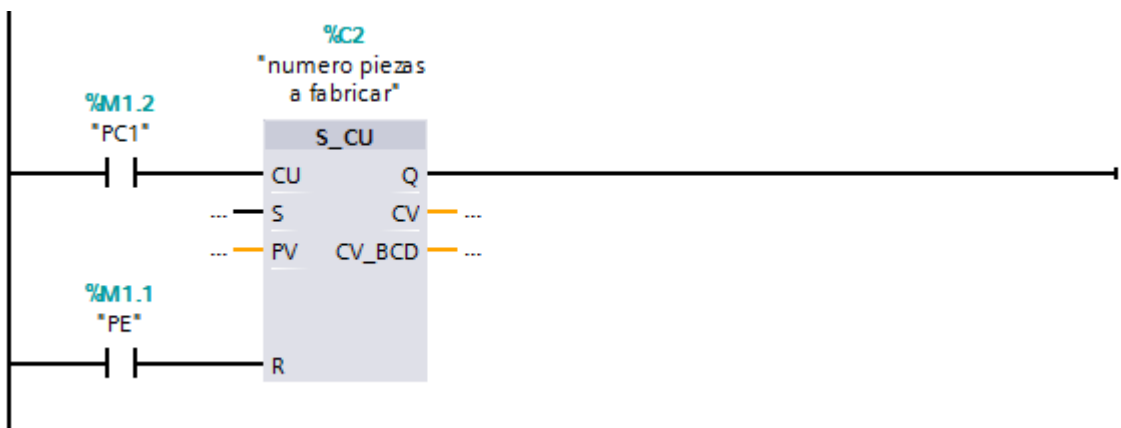
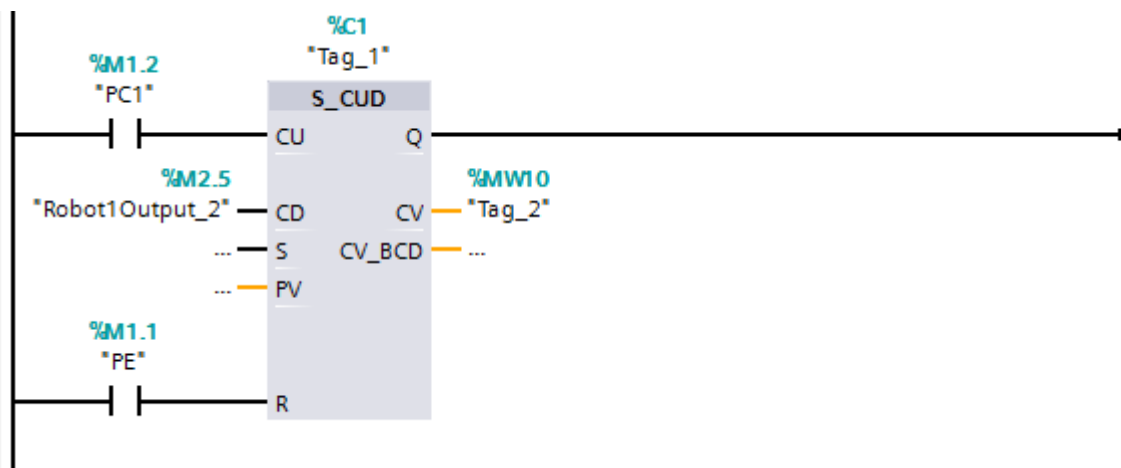
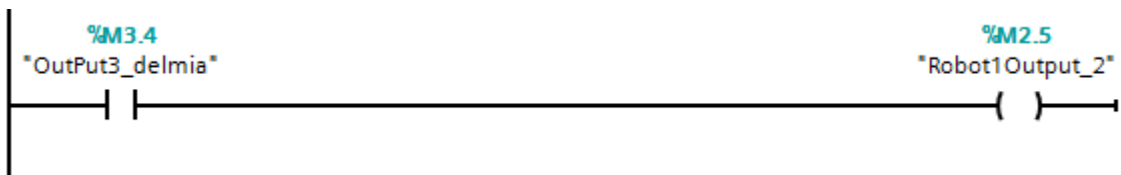
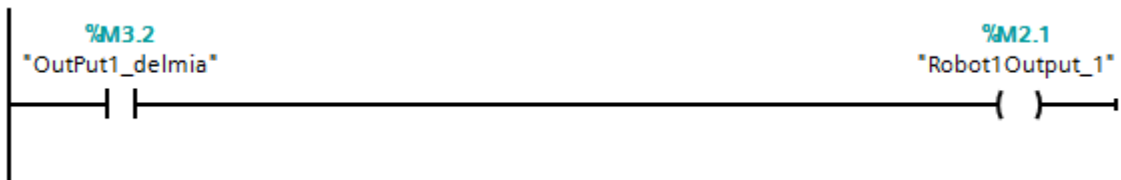
ANEXOS

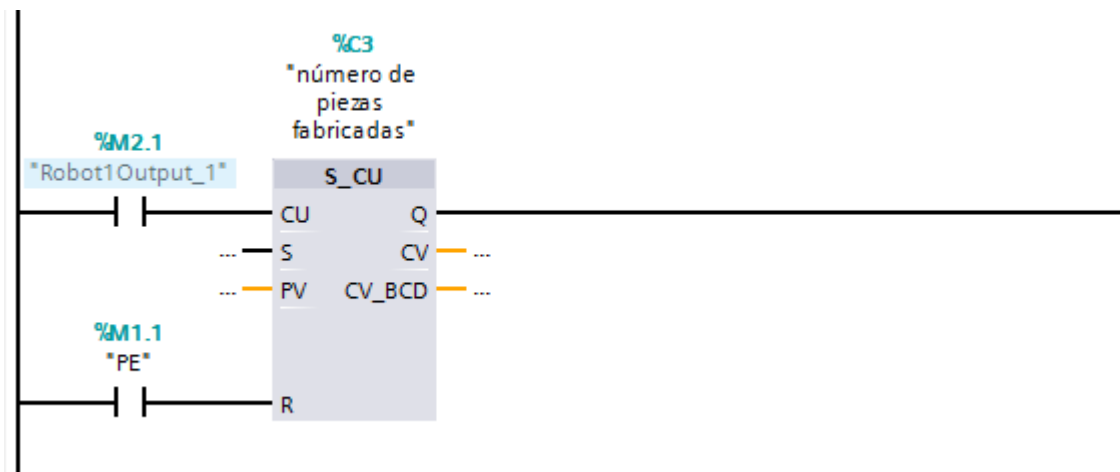
ANEXO I. LADDER











ANEXO II. LÓGICA INTERNA

